NEURO-ELEKTRISCHE

STUDIEN.

VON

Dr. S. STRICKER
UNIVERSITÄTS-PROFESSOR IN WIEN.

MIT 19 HOLZSCHNITTEN.

WIEN, 1883.
WILHELM BRAUMÜLLER
K. K. HOF- UND UNIVERSITÄTSBUCHHÄNDLER.

Vorwort.

Der wesentliche Inhalt dieser Schrift ist nicht durchwegs neu; er bildet zum grossen Theile nur eine Wiederholung dessen, was ich schon in einer früher publicirten Abhandlung mitgetheilt habe. Indem aber die Lehrsätze, welche ich in jener Abhandlung vertreten habe, angegriffen und als vollständig haltlos hingestellt worden sind, habe ich sowohl die erhobenen Einwände, als auch meine eigenen Experimente im Laufe des Früh- und Spätjahres 1882 noch einmal geprüft. Diese erneute Arbeit hat mich zu der Ueberzeugung gebracht, dass die Gegenversuche, auf deren Grundlage meinen Behauptungen widersprochen wurde, mangelhaft, und die darauf gestützten Einwände nichtig sind, während mich andererseits die Wiederholung und Variation meiner Experimente zu denselben Consequenzen geführt hat, wie zur Zeit meiner ersten Publication. Da ich mich nun auf Grundlage dieser neuen Untersuchung für alle Fälle zu einer neuen Publication veranlasst sah, und meine erste Abhandlung formelle Mängel hatte, glaubte ich gut zu thun, die ganze Angelegenheit noch einmal in anderer Form darzustellen, und sowohl den polemischen Theil, als auch die neuen Momente, welche sich inzwischen ergeben haben, in die neue Darstellung einzuflechten.

In dieser neuen Darstellung habe ich meine Behauptungen in zwei Theile getrennt. Den einen Theil, welchen ich als Prävalenz-Hypothese eingeführt habe, nenne ich Hauptsatz, den anderen Theil Corollarsatz. Der Hauptsatz gehört ausschliesslich in das Gebiet der Physiologie, der Corollarsatz in das Gebiet der Physik.

Ich habe diese Theilung vorgenommen, weil die beiden Sätze nicht von gleicher Festigkeit sind. Der Hauptsatz bezieht sich auf ein Gebiet,

mit welchem ich als Fachmann vertraut bin. Hier kann ich meine Ueberzeugungen gegen die Behauptungen meiner Fach- und Zeitgenossen abschätzen, und meinen Ueberzeugungen entsprechend, steht dieser Hauptsatz unerschütterlich fest. Nicht als ob ich glauben würde, dass er sofort anerkannt, oder dass ihm nicht widersprochen werden wird. Chauveau's Arbeiten auf diesem Gebiete, an welche sich mein Hauptsatz anlehnt, sind 1859 publicirt, und ihrem wesentlichen Inhalte nach bis zum heutigen Tage ganz ignorirt worden. Dennoch habe ich keinen Zweifel darüber, dass die Ansichten, welche Chauveau über das Zuckungsgesetz mitgetheilt hat, besser fundirt waren, als alle gegnerischen Ansichten, die von 1860 bis in die neueste Zeit hinein vertreten worden sind. Was ich aber mit aller Bestimmtheit vorauszusagen den Muth habe, ist, dass mein Hauptsatz in seinem ganzen Umfange zur Anerkennung gelangen wird, mag sich vorläufig die Opposition gegen denselben durch Schweigen oder durch Worte geltend machen. Die volle Uebereinstimmung, welche überdies zwischen meinem Hauptsatze und den Erfahrungen der praktischen Aerzte besteht, bestimmt mich auch, denselben zur Basis des öffentlichen Unterrichtes zu machen, und demgemäss das vorliegende Heft meinen Schülern als Commentar zu einzelnen Vorlesungen an die Hand zu geben.

Anders liegt die Sache in Bezug auf meinen Corollarsatz, der in das Gebiet der Physik gehört. Zwar habe ich auch diesen Satz meinen Ueberzeugungen entsprechend vorgetragen; er schien mir aus einigen Versuchen am Nerven mit Nothwendigkeit hervorzugehen. Aber der Werth der individuellen Ueberzeugung muss nach der Erfahrung gemessen werden, welche das Individuum auf dem speciellen Gebiete erworben hat. Indem nun dieser Corollarsatz in die Elektricitätslehre gehört, mit welcher ich mich doch nur als mit einem Hilfsfache beschäftige; indem ich mit diesem Satze einer herrschenden Lehre entgegentrete, und zwar auf Grundlage der Behauptung entgegentrete, dass der Muskelnerv hier als ein Reagens sui generis functionire; wage ich es nicht, mir über das Schicksal dieses Satzes ein Urtheil zu bilden. Mit Rücksicht auf diesen Umstand habe ich es auch in der folgenden Abhandlung deutlich hervorgehoben, dass die beiden Sätze,

wenngleich sie in engem Connex stehen, doch nicht so verflochten sind, dass einer nur mit dem anderen stehen könnte, und einer mit dem anderen fallen müsste.

Indem ich meinen Corollarsatz mit dieser Reserve vorbringe, bitte ich die Leser, daran zu denken, dass nicht Jeder, der sich berufen fühlt, jenen Satz öffentlich zu kritisiren, und sich dabei als einen Kenner der Elektricitätslehre proclamirt, thatsächlich ein solcher Kenner ist. Das engere Gebiet, auf welches sich meine Behauptungen beziehen, ist noch lange nicht genügend klargelegt, um das Neue rücksichtslos von dem Gesichtspunkte der herrschenden Lehre aus zu beurtheilen. In solchen Fällen müssen die Thatsachen geprüft werden, auf welche sich die neuen Behauptungen stützen. Kritiker also, die — wie es nach dem Erscheinen meiner bereits genannten Abhandlung der Fall war — öffentlich verurtheilen, ohne auch nur die Jahreszeit abzuwarten, in welcher allein die neuen Beobachtungen mit Erfolg geprüft werden können, dürften kaum den Anspruch erheben, als Kenner dieser Lehren zu gelten.

INHALT.

Seite

I.

Die sogenannte metallische Leitung im Nerven.

Die Frage, ob die Leiter zweiter Ordnung nur elektrolytisch leiten, oder ob in ihnen neben der Elektrolyse auch eine sogenannte metallische oder mechanische Leitung stattfindet, ist für die Nervenphysiologie von nicht geringer Wichtigkeit. Wird der Strom, lautet hier die Frage, durch den Nerven nur dadurch geleitet, dass der Nerv eine chemische Zersetzung erleidet, oder ist in demselben auch eine Leitung möglich, an welche eine Elektrolyse nicht nothwendig geknüpft ist.

Chauveau hat (1859) die Meinung vertreten, dass die Erregung des motorischen Nerven durch den elektrischen Strom nur in Folge der metallischen Leitung oder wie er es ausdrückt, der mechanischen Erschütterung zu Stande komme.

Indem ich nun daran gehe diese Hypothese näher zu beleuchten, will ich von vornherein bemerken, dass die metallische Leitung (abgesehen von der Elektrolyse) auch noch eine chemische Aenderung zur Folge haben kann; denn es mag wohl sein, dass jede wie immer geartete Erregung des Nerven von einer chemischen Umsetzung begleitet ist. Doch darum handelt es sich hier nicht. Die Frage geht nur dahin, ob die metallische Leitung in Betracht kommt.

Richtiger formulirt lautet meine Frage, ob eine solche Leitung für die Function des Nerven in Betracht kommen kann, zumal ihre Möglichkeit überhaupt nicht bezweifelt wird.

G. Quinke spricht sich [1]) über diese Angelegenheit schon in ganz bestimmter Weise aus. Bei den Flüssigkeiten, welche elektrolysirt werden, heisst es daselbst, besteht die durch dieselben strömende Elektricitätsmenge aus zwei Theilen. Der eine Theil ist derjenige, der mit sogenannter metallischer Leitung durch die Flüssigkeit hindurchgeht, und

---

[1]) Ueber Elektrolyse und Elektricitätsleitung. Poggendorff's Annalen 5. R. Bd. 24. 1872, pag. 1.

der andere, welcher von materiellen Moleculen getragen in der Flüssigkeit fortbewegt wird.

„Der erste Theil ist nun im Vergleich mit dem zweiten so gering, dass manchesmal sogar die Existenz dieser sogenannten metallischen Leitung geläugnet worden ist“ [1]).

Die Annahme einer metallischen Leitung in Leitern zweiter Ordnung widerspricht dem Faraday'schen Gesetze, demzufolge die an den Elektroden in der Zeiteinheit abgeschiedene Menge von chemischen Theilprodukten als ein Mass für die durch den Leiter geflossene Elektricitätsmenge angesehen werden könne.

Nun ist aber, wie aus der Bemerkung Quinke's (siehe Note) hervorgeht, die Abweichung von dem Faraday'schen Gesetze so klein, dass sie noch innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler liegt.

Diese Kleinheit kann uns indessen in unserer Betrachtung nicht irre machen, da wir nicht wissen, wie empfindlich der Nerv gegen den metallisch geleiteten Theil des Stromes sein mag. Eine einfache, auf allgemein anerkannte Erfahrungen gestützte Betrachtung wird uns vielmehr lehren, dass uns die Annahme von der grossen Bedeutung der metallischen Leitung im Nerven sehr nahe gerückt ist.

Um diese Angelegenheit in einer für die Aerzte fasslichen Form vorbringen zu können, will ich die Darstellung mit einigen allgemeinen Bemerkungen einleiten.

J. A. Maxwell [2]) beleuchtet den Ausdruck „Potential“ in der Elektricitätslehre durch das folgende Gleichniss, „Potential“ hat (in der Elektricitätslehre) dieselbe Beziehung zur Elektricität, wie in der Hydro-

---

[1]) In einer Note zu diesem Absatze wird ferner Folgendes ausgeführt: Aus der einfachen Thatsache, dass kein Körper vollkommen isolirt, folgt schon, dass sie alle ein Leitungsvermögen in derselben Art wie die Metalle besitzen müssen. Kein festes Salz, welches vom elektrischen Strom nicht zersetzt wird, isolirt vollkommen, und man müsste also, falls die oben ausgesprochene Bemerkung unrichtig wäre, die wunderliche Annahme machen, dass die blosse Aenderung des Aggregatzustandes bei einer Reihe elektrolysirbarer Verbindungen die Eigenschaft ein sogenanntes metallisches Leitungsvermögen zu besitzen, zerstörte, dagegen bei anderen nicht elektrolysirbaren Verbindungen dürfte eine solche Aenderung des Leitungsvermögens nicht eintreten. Wahrscheinlich ist auch das Faraday'sche Gesetz nicht in aller Strenge richtig; die Abweichungen sind aber jedenfalls so klein, dass sie noch weit innerhalb der Grenzen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler liegen.

[2]) A Treatise on Electricity and Magnet. Oxford 1873.

statik „Druck“ zur Flüssigkeit, wie in der Wärmelehre Temperatur zur Wärme. Elektricitäten, Flüssigkeiten und Wärme streben von einem Orte auf einen anderen überzutreten, wenn das Potential, der Druck oder die Temperatur an dem einen Orte grösser ist, wie an dem anderen.

Sowie also bei einer geringen Menge Wassers ein hoher Druck, bei einer geringen Wärmemenge in einem Körper eine hohe Temperatur, so kann auch bei einer geringen Elektricitätsmenge ein grosses Potentiale oder eine grosse Spannung [1]) obwalten.

An den beiden Enden einer offenen Kette ist nun positive und negative Elektricität von einer gewissen Spannung angehäuft, und wenn die Enden oder Pole durch einen Leiter verbunden werden, so entstehen dadurch zwei Ströme; ein Strom verläuft vom positiven Pol der nassen Kette (Kupfer) zum negativen und einer vom negativen Pol (Zink) zum positiven. Gemeinhin wird zwar nur von einem Strome gesprochen, und man versteht darunter nur den positiven (vom Kupfer zum Zink im Leitungsdraht). Diese Art sich auszusprechen beruht aber nur auf einem Uebereinkommen. Es würde die Darstellung sehr erschweren, wenn wir fortwährend von zwei Strömen sprechen müssten, die in entgegengesetzter Richtung durch einen Draht laufen und dennoch in einem Sinne auf die Magnetnadel und auf den Nerven wirken.

Diesem Uebereinkommen gemäss hat man sich daran gewöhnt, auch in der Elektrophysiologie nur den einen Strom in Betracht zu ziehen, der von der Anode zur Kathode geht. In der That aber müssen wir uns stets vergegenwärtigen, dass wenn durch den Nerven ein positiver Strom centrifugal (absteigend) gesendet wird, gleichzeitig auch der negative Strom centripetal (aufsteigend) verläuft und umgekehrt.

Wenn ich also die Kette durch einen Nerven schliesse, werden sich die beiden Ströme in den Nerven hinein ergiessen. An dem Nervenende, welches dem Zinkpol anliegt, wird der negative Strom eintreten, an dem anderen Ende der positive, und zwar tritt je ein Strom in den Nerven mit einer Spannung ein, welche mit der Spannung am metallischen Pole wächst und fällt. Bei einer Spannung Null kann selbstverständlich gar kein Strom eintreten. Je grösser andererseits die Spannung, mit welcher der Strom im Momente des Schliessens in den Nerven einbricht, um so intensiver die Wirkung auf den Nerven.

---

[1]) Zwischen „Potential“ und „Spannung“ werden wohl gewisse Unterschiede gemacht, beide Termine werden aber auch, wenngleich sich dagegen mancher Widerspruch erhebt, als Synonyme gebraucht. Für die Zwecke dieser Schrift glaube ich diesen Brauch einhalten zu dürfen.

Nach Du Bois-Reymond, welcher die Erfahrung über die Nervenerregung durch den Strom formulirt hat, drückt man sich jetzt so aus, dass man sagt, die Wirkung des Stromes auf den Nerven hängt von den Veränderungen der Stromdichte ab [1]). Die Erregung des Nerven wird um so bedeutender, je grösser die Aenderungen in der Zeiteinheit waren.

Wir können hier statt Aenderungen der Stromdichte, Aenderung der Spannung setzen, insoferne wir darunter nur die Spannung verstehen, mit welcher der Strom, richtiger die beiden Ströme in den Nerven eintreten, da die Spannungen im Verlaufe des Nerven, respective im Verlaufe des Stromes durch den Leiter abnehmen. Und ich halte es mit Rücksicht auf meine weitere Betrachtung für zweckmässig, die Regel mit Zuhilfenahme des Wortes „Spannung" zu formuliren. Sodann lautet der Satz: Die Erregung des Muskelnerven wächst mit der Grösse, welche die Spannungsänderungen an den Elektroden in der Zeiteinheit betragen.

Da ich im Verlaufe dieser Schrift darlegen werde, dass es am normalen Nerven innerhalb gewisser Grenzen nur auf die Spannung an der Kathode ankommt, so wird der Satz später noch im Sinne dieser Darlegung geändert werden müssen.

Wenn ich andererseits nur den Fall in Betracht ziehe, dass der Strom mit der Schliessung des Kreises in den Nerven einbricht; wenn ich ferner zwei solche Schliessungen mit einander vergleiche, so wird die Geschwindigkeit der Spannungsänderung dort eine grössere sein, wo die Spannung an den Elektroden die grössere ist. Denn je grösser die Spannung, um so rascher steigt sie caeteris paribus von Null zu ihrem Maximum an. Wenn ich mich also blos auf die Leistung der in gleichförmiger Weise bewirkten Kettenschlüsse beziehe, so kann ich die oben formulirte Regel in Kürze nunmehr so ausdrücken, dass ich sage, die Schliessungszuckung hängt von der Grösse der Spannung an der Kathode ab.

Gleichwie nun die chemische Wirkung (die Menge der chemischen Theilprodukte) als ein Mass der Elektricitätsmenge angesehen wird, welche in der Zeiteinheit durch den Nerven fliesst, so kann man die genannte physiologische Wirkung, respective die Grösse der Muskelzuckung caeteris paribus und innerhalb gewisser Grenzen als ein Mass der Spannung des Stromes ansehen, mit welcher er im Momente des Schliessens in den Nerven eintritt.

---

[1]) Siehe Unters. über thier. Elektr. p. 259.

Der Muskelnerv reagirt also ähnlich dem Elektroskop. Aehnlich sage ich und bemerke sofort, dass die Analogie eine ganz einseitige ist. Das Elektroskop bewahrt die ihm übertragene elektrische Spannung und cumulirt sie, wenn es zweimal hinter einander mit Spannungen desselben Vorzeichens geladen wird. Der Nerv kann die Elektricität aber nicht bewahren. Er muss in den Stromkreis eingeschaltet werden, wenn er reagiren soll, und er reagirt nur auf die jeweilige Spannungs-Aenderung.

Der Muskelnerv ist andererseits kein verlässlicher Messapparat. Der Nerv des Frosches bedarf je nach den verschiedenen Jahreszeiten und ferner je nachdem das Thier unmittelbar nach seiner Gefangennahme oder nach längerer Gefangenschaft getödtet wird, verschieden grosser Spannungen, um eine Zuckung auszulösen. Immerhin aber kann das Froschpräparat zu gewissen Spannungs-Messungen verwendet werden.

Es ist bekannt und aus dem früher citirten Maxwell'schen Gleichnisse auch leicht ersichtlich, dass geringe Elektricitätsmengen unter relativ hoher Spannung stehen können. Nun weiss man ferner, und es ist des Besonderen von Du Bois-Reymond klar dargelegt worden, dass sich zwischen der physiologischen Wirkung und der Elektricitäts-Menge kein Zahlenverhältniss auffinden lässt. Eine und dieselbe Elektricitätsmenge auf zwei ungleiche Glasbelege vertheilt gibt von dem kleineren aus den heftigeren Schlag [1]). Du Boys-Reymond sagt, es erfolgt dies wegen der grösseren Geschwindigkeit der Entladung von der kleinen Belegfläche aus. Ich glaube, dass ich an dem Sinn der Thatsachen nichts ändere, wenn ich auch hier das Wort „Spannung“ einfüge und sage, die grössere physiologische Wirkung ist ein Effect der grösseren Spannung. Die physiologische Wirkung, sagen wir also, hängt nicht direct von der Elektricitätsmenge, sondern unter den schon genügend besprochenen Einschränkungen von der Spannung an den Elektroden ab.

Wenn man nun bedenkt, dass sich die Elektricitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch den Elektrolyten fliesst, näherungsweise durch den elektrolytischen Process kundgibt; mit anderen Worten, dass der grösste Theil der in den Elektrolyten eintretenden Elektricitätsmenge elektrolytisch geleitet wird;

wenn man ferner bedenkt, dass die physiologische Wirkung, respective die Zuckung des Muskels unter Umständen bei einer gerin-

---

[1]) Du Bois-Reymond l. c. pag. 270.

geren (elektrolytisch nachweisbaren) Elektricitätsmenge grösser ausfallen kann als bei einer grösseren Menge, nämlich dann, wenn die erstere unter grösserer Spannung in den Nerven einbricht, als die letztere:

Wenn man das bedenkt, sage ich, könnte man zu der Vermuthung gelangen, dass die Wirkung des Stromes auf den Nerven nicht von dem elektrolytisch geleiteten Stromantheil allein abhänge; denn wenn eine Wirkung mit der Abnahme eines ihr zugeschriebenen ursächlichen Processes zunehmen kann, so darf man vermuthen, dass noch ein anderes ursächliches Moment mit in Betracht kommen muss.

Bei dieser Sachlage müssen wir unser Augenmerk auf den metallisch geleiteten Stromantheil wenden.

Wenngleich der metallisch geleitete Stromantheil gewiss nur einen sehr kleinen Theil der gesammten in den Leiter zweiter Ordnung einbrechenden Elektricitätsmenge ausmacht, so könnte es doch sein, dass eben dieser Theil nicht direct mit der Elektricitätsmenge (in der Zeiteinheit), sondern mit der Grösse der Spannungsänderungen wächst.

Das eigenthümliche Gefühl von mechanischer Erschütterung, welche der Inductionsschlag sowohl wie die Entleerung der Leydener Flasche in uns weckt, spricht durchaus im Sinne dieser Erwägungen. Denn eben dieses Gefühl der Erschütterung ändert sich caeteris paribus gleich der Muskelzuckung mit der Grösse der Spannung des in uns einbrechenden Stromes.

Zwar könnte man einwenden, diese Erschütterungen rühren von Muskelzuckungen her. Ich muss aber diesen Einwand auf Grundlage meiner subjectiven Wahrnehmungen bestreiten. Ich verspüre die Erschütterung namentlich in den Gelenken deutlich, und ich habe schon bei einer anderen Gelegenheit [1]) darauf hingewiesen, dass ich von den Gelenken lebhaftere Localnachrichten bekomme, als von den Knochen und Muskeln. Dieses Gefühl in den Gelenken kann nicht von Muskelstössen herrühren, da ich die Stösse schon bei Strömen verspüre, welche noch keine solche Muskelzuckung auslösen, um die Gelenke zu erschüttern. Nun weiss ich wohl, subjective Befunde sind wenig massgebend. Menschen mit stumpferen Sinnesnerven werden mir entgegnen, dass sie nichts verspüren, und das könnte genügend scheinen, um meine Behauptung für widerlegt zu halten. Ich führe aber das subjective Gefühl nicht als ein Hauptargument, sondern nur als ein unterstützendes Moment an.

---

[1]) Studien über das Bewusstsein. Braumüller 1879.

Ueberdies möchte ich noch darauf hinweisen, dass das Hereinbrechen des Stromes in den Kopf zuweilen von starken Erschütterungen desselben begleitet sein soll. Ich kenne das nicht aus eigener Erfahrung, weil ich solche Versuche nicht anzustellen wage, ich citire es nur nach Du Bois-Reymond[1]), der übrigens auch nicht mittheilt, ob er es aus eigener Erfahrung kennt. Sollte, was ich nicht bezweifle, die Schilderung der Wahrheit entsprechen, so wird es wohl schwer fallen die Erschütterungen des Kopfes auf Rechnung der Muskelzuckungen zu setzen.

Der schon von Chauveau hervorgehobene Umstand ferner, dass die bekannten mechanischen Wirkungen elektrischer Ströme, wie z. B. die Erschütterung und Zertrümmerung der Leiter unter denselben Bedingungen wachsen wie die physiologischen Wirkungen, ist gleichfalls geeignet jene Erwägungen zu unterstützen.

Diese Erwägungen haben sicherlich nicht den Werth von Beweisen. Es wird einer besonders darauf gerichteten Untersuchung bedürfen, um für meine Vermuthung den Beweis zu erbringen. Dem Anstreben der Beweise müssen aber Erwägungen vorausgehen, und ich glaubte den letzteren hier um so eher Ausdruck geben zu müssen, als sich die Darstellung, welcher ich die folgenden Blätter widme, diesen Erwägungen in manchen Stücken anschliesst.

Indem ich in der voranstehenden Erörterung der gebräuchlichen Form gemäss von der physiologischen Wirkung des Stromes gesprochen und der Vermuthung Ausdruck gegeben habe, dass sie von dem metallisch geleiteten Stromantheile herrühre, muss ich wohl die Correctur anbringen, dass dies nicht für die physiologischen Wirkungen schlechtweg gilt. Nach der ausführlichen Schilderung, welche Du Bois-Reymond den Unterschieden zwischen der Wirkung des Stromes auf den motorischen und sensiblen Nerven gewidmet hat, brauche ich mich nicht ausführlich über die Sache zu äussern. Es wird genügen, hier ausdrücklich zu bemerken, dass ich mich nur auf jene Erfahrungen beziehe, für welche die von Du Bois-Reymond aufgestellte Regel erwiesenermassen gilt. Hieher gehören die Wirkungen auf den motorischen Nerven oder sagen wir lieber die Auslösung der Muskelzuckungen und sicher auch diejenigen subjectiven Lichterscheinungen (Blitze), und diejenigen Gehörserscheinungen, welche sich bei der elektrischen Reizung der Seh- und Hörnerven an die Schliessung und Oeffnung des Stromes knüpfen.

---

[1]) Untersuchungen über th. Elektr. p. 286.

Ich spreche in der folgenden Darstellung von Schliessungszuckungen, aber gar nicht von den Oeffnungszuckungen. Das Motiv hiefür liegt darin, dass ich an dem Froschnerven nicht die Ueberzeugung gewinnen konnte, dass der ganz frische normale Nerv (in der guten Jahreszeit) eine Oeffnungszuckung gibt, insolange die zugeführten Ströme nicht so intensiv sind, um den Nerven schon bei der ersten Reizung zu verändern. Ich habe diesen Umstand schon in meiner früheren Abhandlung zur Sprache gebracht, und erwähne ihn hier nur mit Rücksicht auf meine Vermuthung von den Leistungen des metallisch geleiteten Stromantheiles.

II.

Die gleichartigen und unpolarisirbaren Elektroden.

In der Mittheilung, welche Du Bois-Reymond 1859 über eine Verbesserung der gleichartigen und nicht polarisirbaren Elektroden gemacht hat [1]), ist einleitend des Umstandes Erwähnung geschehen, dass die Polarisation der Elektroden auch jenen Versuchen hinderlich ist, bei welchen Ströme von beständiger und gemessener Stärke thierischen Theilen zugeführt werden sollen; es ist aber keinerlei Versuch angeführt werden, um diesem Ausspruche eine thatsächliche Stütze zu verleihen.

Die Behauptung, dass man mit polarisirbaren Elektroden nicht Ströme von beständiger Stärke zuführen könne, bedarf zwar keines Beweises. Ob und in welchen Fällen es aber bei physiologischen Versuchen auf die Zuleitung von Strömen ankomme, die in ihrem Verlaufe von beständiger Stärke sind, das ist einer näheren Erörterung sehr wohl bedürftig.

Als ich anfing, mich mit Experimenten über das Zuckungsgesetz zu beschäftigen, habe ich (den damals gebräuchlichen Methoden gemäss) die Ströme durch Elektroden zugeleitet, die angeblich unpolarisirbar sein sollten. Nachdem ich mich jedoch durch Hunderte von Vergleichen überzeugt hatte, dass die Platinspitzen als Stromgeber für die Fundamentalversuche genau dieselben Dienste leisten, wie die erstgenannten Elektroden, erschien es mir zweckmässig, die gebräuchliche Methode zu verlassen und mich, da wo keine besondere Indication dagegen vorlag, ausschliesslich der Platinspitzen zu bedienen.

In meiner Publication über das Zuckungsgesetz [2]) habe ich diesen Umstand besprochen und die Zulässigkeit der Untersuchung mit Metallspitzen überdies durch den Hinweis auf die Geschichte unseres Faches

---

[1]) Siehe dessen gesammelte Abhandlungen. 1875. p. 42.

[2]) Wiener Sitzungsber. 1881. Bd. 84.

begründet. Ich weiss, sagte ich, soweit mir die Geschichte unseres Faches bekannt ist, von keiner principiell neuen Entdeckung über das Zuckungsgesetz, welche seit der Einführung der unpolarisirbaren Elektroden gemacht worden wäre. Der neuere Verlauf der Ereignisse in der Literatur hat mich indessen darüber belehrt, dass es nicht überflüssig ist, diese Angelegenheit hier noch einmal zu beleuchten, und mit Rücksicht darauf habe ich eben den Abschnitt über die metallische Leitung im Nerven vorangestellt.

Sobald wir uns einmal darüber klar geworden sind, dass der Strom auf den Muskelnerven nur im Status nascens respective durch die oder während der Aenderung wirkt, so müssen wir auch anerkennen, dass die Polarisation auf diese Wirkung keinen Einfluss nehmen kann; denn die Polarisation ist ja eine Folge der Aenderung; die Polarisation kann hier nichts Anderes leisten als eine zweite Aenderung bedingen, sie könnte also den Muskel zu einer zweiten Zuckung bringen, was übrigens am frischen normalen Nerven erfahrungsgemäss und aus Gründen, die ich sofort darlegen werde, nicht zutrifft.

Auf die Zuckung also, welche der Schliessung der Kette unmittelbar folgt, kann die Polarisation keinen Einfluss nehmen. Nach dieser Zuckung kann aber ein solcher Einfluss bei dauerndem Kettenschlusse darum nicht zu Stande kommen, weil der Strom allmälig geschwächt wird, der Nerv sich also aus dem Maximum herausschleicht [1]).

Noch muss aber hier ein Umstand in Betracht gezogen werden. Die polarisirbaren Elektroden sind auch ungleichartig. Die Anwendung der unpolarisirbaren Elektroden liesse sich also vielleicht mit Rücksicht auf ihre Gleichartigkeit rechtfertigen.

Zunächst sei hier bemerkt, dass ich es bezweifle, ob die bis jetzt bekannt gewordenen Einrichtungen eine absolute Gleichartigkeit gewähren.

Amalgamirte Zinke in gesättigter Zinkvitriollösung haben sich bei den empfindlichen Boussolen, über welche Du Bois-Reymond 1859 [2]) verfügt hat, noch vollständig gleichartig erwiesen. An den Boussolen,

---

[1]) Ich habe mich hier abermals wie im vorigen Abschnitte nur auf den frischen normalen Nerven bezogen, weil sich an herabgekommenen Nerven zuweilen Unregelmässigkeiten geltend machen, auf die ich hier nicht näher eingehen kann.

[2]) Siehe Du Bois-Reymond's gesammelte Abhandlungen.

über die wir jetzt verfügen, trifft auch dies nicht zu. An meinem Exemplare der nach L. Hermann's Verbesserungen [1]) gebauten Boussole kann ich, wenn sie sehr empfindlich eingestellt ist, trotz aller Sorgfalt, mit der ich die Elektroden hergestellt habe, keine elektrische Gleichartigkeit erzielen.

Ich habe der grösseren Empfindlichkeit des Apparats gegenüber es neuerdings versucht, mein Zuleitungsgefäss aus chemisch reinem Zink herzustellen, welches von meinem Collegen E. Ludwig unter besonderen Cautelen gegossen wurde. Dann habe ich mit chemisch reinem Quecksilber amalgamirt. Trotzdem habe ich noch Ungleichartigkeiten gefunden, die mich zwingen, auf 100 Scalentheile Nervenstrom 5 Scalentheile Correctur anzubringen [2]).

Auf die absolute Gleichartigkeit in den Elektroden kommt es in den Versuchen über das Zuckungsgesetz indessen nicht an. Für die motorischen Nerven haben sich schon nicht verquickte Zinkpole als genügend gleichartig erwiesen; da ein Zink-Kupfer-Zinkbogen zu keiner Jahreszeit — also auch nicht an den empfindlichsten Fröschen — eine Zuckung auszulösen im Stande ist.

Ein Platin-Kupfer-Platinbogen löst, wie ich schon in meiner früher citirten Abhandlung erwähnt habe, an sehr empfindlichen Fröschen des Früh- und Spätjahres ausgiebige Zuckungen aus. Die Ungleichartigkeiten der Platinspitzen kommen also wohl in Betracht, wenn ich sie durch einen metallischen Leiter verbinde, wie es z. B. bei der Untersuchung mit dem Inductionsapparate der Fall ist. Bei der nassen Kette aber ist der Widerstand im Kreise zu gross, als dass die Ungleichartigkeiten der Platinspitzen in Betracht kommen könnten. Bei der nassen Kette habe ich in der That auch (wenn der Kettenstrom selbst unzureichend war) durch das Anlegen der Platinspitzen an den Nerven niemals eine Zuckung auslösen sehen. Die Ungleichartigkeit der Platinspitzen kann also nur bei Anwendung des Inductionsapparates und an den empfindlichsten Präparaten eine Störung verursachen.

Insoferne es nun in den Experimental-Wissenschaften darauf ankommt, die Versuche möglichst einfach herzurichten, kann es gar keinem Zweifel unterliegen, dass die Platinspitzen schon ihrer Einfachheit wegen

---

[1]) Siehe Pflüger's Archiv. Bd. 21.

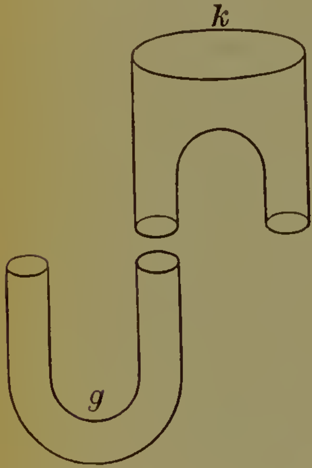
[2]) Wie ich hier beiläufig bemerken will, gleichen sich diese Differenzen nicht aus wie bei den Platinelektroden in Wasser. Ueber den Ausgleich an Platinelektroden hat Helmholtz in dem citirten Aufsatze einen Aufschluss gebracht, der aber für die Zinkelektroden nicht mehr zutrifft.

bei Anwendung der nassen Ketten vor den verquickten Zinkspitzen in Zinkvitriol den Vorzug verdienen.

Andererseits lehrt die Erfahrung, dass die Anwendung der unpolarisirbaren Elektroden für das Studium des Zuckungsgesetzes geradezu Nachtheile im Gefolge hat. Indem es hier nämlich darauf ankommt, die Stromgeber leicht verschieben zu können, so hat man sich veranlasst gesehen, die letzteren einerseits in die Stabform zu bringen und das auf den Nerven anzulegende Ende der Elektrode spitz auslaufen zu lassen. Nun muss aber dieses Ende aus einem porösen Material bestehen, welches mit der geeigneten Kochsalzlösung getränkt wird, und das bringt eben manche Fehlerquellen mit sich. Indem die Lösung an dem spitzen Ende verdunstet, wachsen einerseits die Widerstände, während sich andererseits die Concentration der Lösung ändert. Man muss also bei länger dauernden Versuchen die Zuleitungsspitzen häufig mit frischer Lösung versehen, wodurch der Versuch abermals complicirt wird.

Von viel grösserem Belange als für die Elektroden ist die hier angeregte Frage für den Rheostaten. Man kann bei den Versuchen über das Zuckungsgesetz (insoferne man sich der Kettenströme bedient) den nassen Rheostaten nicht entbehren, das heisst also, man muss den Leitungsdraht an zwei Orten durch Leiter zweiter Ordnung ersetzen, indem man an einem Orte den Nerven und an einem anderen den Rheostaten einschaltet.

Fig. 1.



Nun habe ich für diese Zwecke ein aus Hartkautschuck und Glas construirtes Röhrensystem eingefügt, welches mir gestattet, den Drähten (s. Fig. 1) jeden beliebigen gegenseitigen Abstand zu geben, den eingeschal-

Erklärung der Abbildung. Fig. 1 zeigt nur zwei Glieder des Ganzen. Das eine Glied *k* ist aus Hartkautschuck gegossen und lässt sich mit einer kurzen Hose vergleichen, das andere Glied *g* wird durch eine U-förmig gekrümmte Glasröhre gebildet. Aus solchen Gliedern kann man ein beliebig langes System zusammensetzen, nur dass am Anfange und am Ende des Systems ein geradliniges Endrohr angesetzt werden muss, um die Flüssigkeit im Systeme auf eine solche Höhe zu stellen, dass das ganze System von einer continuirlichen Wassersäule durchsetzt werde. Dass ich bei solcher Anordnung zwei Drähte innerhalb der erforderlichen Grenzen durch Flüssigkeitssäulen von beliebiger Länge trennen kann, ergibt sich von selbst.

teten Leiter zweiter Ordnung also beliebig lang zu machen. Wenn ich zu Drahtenden Platinspitzen wähle, die aus dem sonst verharzten Drahte hervorragen, und das Röhrensystem mit destillirtem Wasser fülle, so schalte ich zwar in den Kreis neuerdings elektrische Ungleichartigkeiten, eventuell Polarisation ein, die ich vermeiden würde, wenn ich hier verquickte Zinkenden in schwefelsaurem Zinkoxyd zur Verwendung brächte. Nun bietet mir aber das destillirte Wasser den Vortheil, dass ich wegen seines sehr grossen Widerstandes mit relativ kurzen Röhrenstrecken auskomme. Zudem muss man bedenken, dass man die Zinkspitzen schon wegen ihrer Gebrechlichkeit nicht so dünn machen kann, wie Platinspitzen, dass also der Querschnitt des Röhrensystems für die ersteren um ein mehrfaches grösser sein muss, wie für die letzteren.

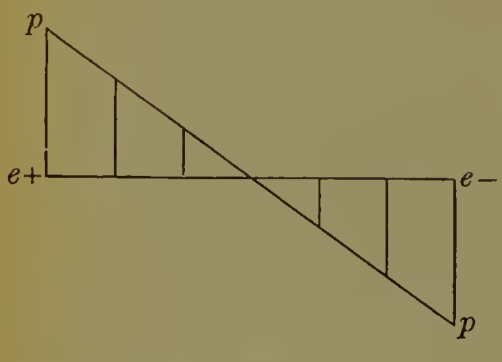
Bei der Anwendung unpolarisirbarer Rheostaten musste ich (empfindliche Frösche und ein Daniell vorausgesetzt) Flüssigkeitssäulen in der Länge von mehreren Metern einschalten. Ich habe über einen Röhrensatz von drei Meter Länge verfügt und musste an einzelnen Septembertagen, wo die Frösche eben die erwünschte hohe Reizbarkeit zeigten, den Versuch einstellen, weil mein Rheostat unzureichend geworden war. Abgesehen also von den sonstigen Vorzügen, welche das Hantieren mit Platinspitzen in destillirtem Wasser gegenüber den Zinkspitzen in Zinkvitriol bietet, knüpfen sich an den Gebrauch des unpolarisirbaren Rheostaten wesentliche Uebelstände, welche zuweilen den ganzen Versuch stören können. Da nun Erfahrung und Ueberlegung übereinstimmend dafür sprechen, dass die Polarisirbarkeit der Elektroden auf den Verlauf der Schliessungs-Zuckungen keinerlei Einfluss nehmen kann, so muss, glaube ich, dem Wasser-Rheostaten unbedingt der Vorzug eingeräumt werden. Und soweit ich die Sache zu beurtheilen vermag, haben die Untersuchungen über das Zuckungsgesetz mit der nassen Kette erst durch jenen Wasser-Rheostaten die Sauberkeit und Präcision erlangt, die bei solchen Versuchen gefordert werden darf.

III.

Vom elektrischen Gefälle.

Nach der herrschenden Lehre nehmen die an den beiden Elektroden herrschenden Spannungen gegen die Mitte des Leiters zweiter Ordnung hin ab, bis sie endlich beide Null werden. Wenn also die Strecke zwischen e_+ e_- in Fig. 2 der Nerv, e_- der negative Pol, e_+ der positive Pol ist, so haben wir in der Mitte des Nerven die Spannung Null, bei e_+ die maximale Spannung e_+p, bei e_- die maximale Spannung e_-p.

Fig. 2.



Diese Lehre wird auch als die Lehre vom elektrischen Gefälle bezeichnet. Die Linie, welche die Köpfe aller Ordinaten verbindet, deutet uns (bildlich) das Gefälle an [1]).

Meine schon früher (pag. 4, Abs. 4) angedeutete Behauptung, mit welcher ich der herrschenden Lehre in der Physiologie entgegentrete, geht nun dahin, dass es innerhalb gewisser Grenzen nur die negative Spannung ist, welche über die Schliessungszuckung entscheidet.

Diese meine Behauptung bildet einen Theil dessen, was ich als Hauptsatz in der Zuckungslehre bezeichne.

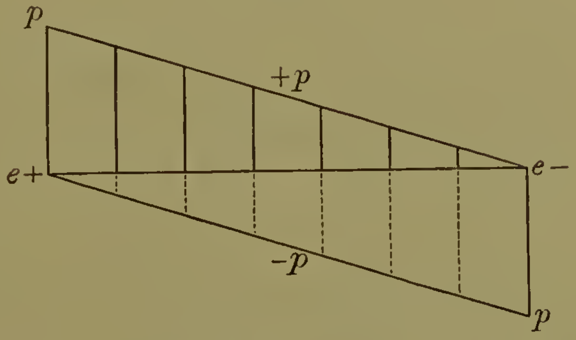
Ausserdem bin ich aber auch der herrschenden Lehre in der Physik durch einen Corollarsatz entgegengetreten. Die positive und

---

[1]) Ich will diese Lehre, da die einschlägigen Thatsachen zuerst von Paul Erman vorgetragen wurden, der Kürze wegen als die Hypothese Erman's bezeichnen.

negative Spannung sagte ich, sinken nicht so ab, dass sie in der Mitte des feuchten Leiters Null würden, sondern so, dass sich das Gefälle, wie es die Fig. 3 zeigt, über den ganzen Leiter zweiter Ordnung erstreckt. Wenn also wieder die Strecke zwischen e_+ und e_- den Nerven,

Fig. 3.



e_- den negativen, e_+ den positiven Pol andeuten, so ist das Maximum der negativen Spannung in $e_{-}p$ und nimmt von da gegen $_{+}e$ hin ab; und ebenso ist umgekehrt das Maximum der positiven Spannung in $e_{+}p$ und nimmt gegen e_- hin ab.

Dieser Corollarsatz, mit welchem ich der herrschenden Lehre in der Physik entgegentrete, steht mit meinem, lediglich auf den Nerven bezüglichen Hauptsatze nicht in dem innigen Connex, dass einer mit dem anderen steht und fällt. Beide Sätze sind von einander unabhängig, es kann einer derselben wahr und der andere falsch sein. Wohl aber stimmt das, was ich in Bezug auf das elektrische Gefälle Neues aussage, mit manchen Erscheinungen am Nerven sehr gut überein, während diese Erscheinungen mit der herrschenden Lehre nicht in Einklang zu bringen sind.

Gegen meinen auf die Erman'sche Hypothese bezüglichen Corollarsatz ist indessen ein Einwand erhoben werden. Es ist darauf hingewiesen worden, dass an einer und derselben Stelle eines Leiters nicht gleichzeitig positive und negative Spannung vorhanden sein könne.

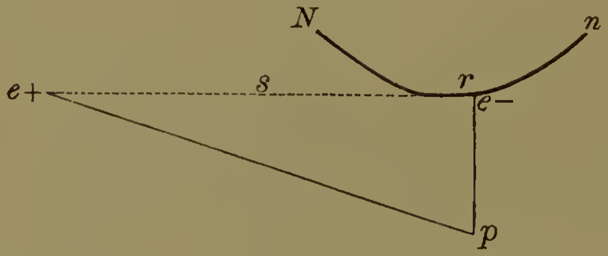
Um diesen Einwand schärfer kenntlich zu machen, will ich den Corollarsatz noch einmal an einem Schema erläutern.

Ich denke mir in der Fig. 4 in r eine Strecke des Nerven N_n in S einen nassen Faden, in e_- e_+ die Elektroden. S und r bilden also jetzt

[1]) Fleischl, Das Zuckungsgesetz im Archiv für Physiologie von Du Bois-Reymond. 1882.

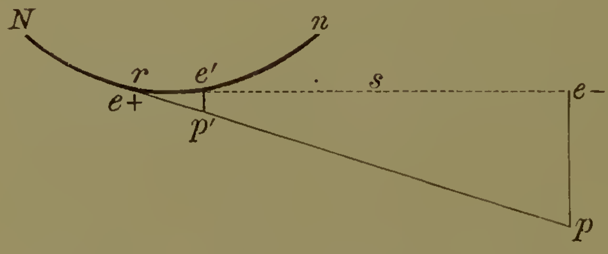
zusammen den linearen Leiter zweiter Ordnung. Wenn ich nun den Strom (respective die Ströme) durch die Strecke r des Nerven sende, so wird meinem Hauptsatze zu Folge der Nerv nur dann erregt, wenn er von einer zureichenden negativen Spannung getroffen wird.

Fig. 4.



Nehmen wir nun an (wie es Fig. 4 versinnlicht), dass die Nervenstrecke an der Kathode liegt, und der Strom in den Nerven mit der negativen Spannung $e_- p$ einbricht. Verschiebe ich den Nerven, wie es Fig. 5 andeutet, an die Anode, so bricht der Strom in den Nerven nur

Fig. 5.



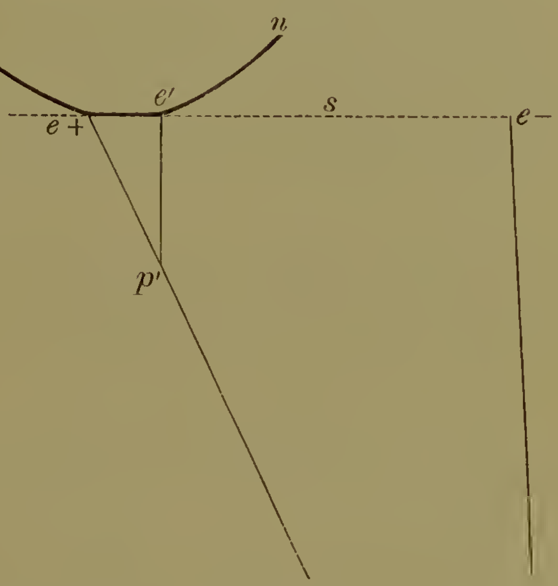
mit einer Spannung $e'p'$ ein. War die Spannung $e_- p$ eben zureichend, um eine Zuckung auszulösen, so muss die Spannung $e'p'$ caeteris paribus jetzt unzureichend sein.

Wenn aber (wie es Fig. 6 versinnlicht), der Strom so stark wird, dass er in r noch die Spannung $e'p' = e_- p$ (aus Fig. 4) hat, was so viel sagen will, als dass er in den nassen Faden (bei e_- Fig. 6) mit einer mehr als zureichenden negativen Spannung eindringt, so kann der Nerv, trotzdem dass er in der Anode liegt, immer noch erregt werden.

Im Sinne meines Corollarsatzes sollte also ein Nerv an jeder beliebigen Stelle in den nassen Faden geschaltet, erregt werden, wohl aber nach Massgabe der Grösse, mit welcher die negative Spannung in den Nerven einbricht. Der gegen meinen Corollarsatz erhobene Vorwurf führt aber aus, dass an derselben Stelle, wo ich negative Spannung suche, auch positive Spannung sein müsste (vide Fig. 3). Die

beiden Spannungen mit entgegengesetzten Vorzeichen gleichen sich aber aus. Meinem Corollarsatze zu Folge müsste man also „den Nerven auch mit jedem indifferenten Körper reizen können, an welchen ja auch negative Spannung nur eben mit gleichviel positiver Spannung zusammen vorhanden ist“.

Fig. 6.



Dieser Einwand beruht aber auf einer Unkenntniss der elementaren Principien. Es wird dabei ruhende und bewegte Elektricität so mit einander verglichen, als ob da gar kein Unterschied bestände. Eine Spannung positiver und negativer (ruhender) Elektricitäten an einem und demselben Areale ist wohl ausgeschlossen. Wenn sich die Elektricitäten vereinigt haben, dann ist keine Spannung mehr vorhanden. Ganz anders liegt aber die Sache bei der bewegten Elektricität.

Suchen wir erst die Sache durch ein Gleichniss zu klären: Es ist widersinnig zu sagen, dass eine stehende Flüssigkeit an einer und derselben Stelle sauer und alkalisch reagiren kann. Wenn ich hingegen zwei Ströme vor mir habe, deren einer saures und der andere alkalisches Wasser führt; wenn diese zwei Ströme einander begegnen, so werde ich im Momente der Vereinigung an einer und derselben Stelle dennoch saures und alkalisches Wasser bei einander haben; wenn endlich die Ströme stetig sind, werden an dieser Vereinigungsstelle stetig Massen von saurer und alkalischer Reaction zusammentreffen. Nun denke man sich an jener Vereinigungsstelle ein Reagens, welches nur

von der Säure, nicht aber von dem Alkali angegriffen wird. In dem Momente als die beiden Ströme auf einander stürzen, wird dann der saure Strom möglicherweise ebensowohl auf dieses Reagens als auf den alkalischen Strom wirken.

Genau so liegt die Sache — insoweit es die Speculation betrifft — mit den elektrischen Strömen. Es ist also das Nebeneinandersein von positiver und negativer Spannung sehr wohl denkbar; so denkbar, dass sie in dem Momente, wo sie zusammentreffen, also unmittelbar vor ihrer Ausgleichung vorhanden sind. In dem nächsten Momente nach der Ausgleichung muss dieser Denkbarkeit gemäss neuerdings negative und positive Spannung vorhanden sein, die sich wieder ausgleicht.

Indem ich dieser Betrachtung Raum gebe und daran gehe zu zeigen, dass ihr das Experiment zu Hilfe kommt, bin ich weit entfernt, den Werth jener Messungen mit dem Elektrometer anzuzweifeln, aus welchen die Erman'sche Hypothese resultirt.

Bei der Messung der elektrischen Spannungen durch das Elektrometer können eben nur die Ueberschüsse, d. h. was nach der Addition von $_{+}e$ und $_{-}e$ (wegen der Ungleichheit ihrer Spannungen) noch übrig bleibt, auf den Messapparat übergehen. Wo also, wie es in der Mitte des linearen Leiters zweiter Ordnung sein kann, die Spannungen gleich gross sind, kann auf das Elektrometer kein Ueberschuss abfliessen. Der Nerv aber muss nicht nothwendig wie das Elektrometer auf das Resultat der Ausgleichung reagiren, er kann, während die Ströme durch ihn kreisen, von dem negativen Strome im Momente der Ausgleichung ergriffen werden.

Die Aufstellung, dass die Spannung beider Ströme nicht in der Mitte des Leiters Null wird, sondern dass der Strom mit positiver Spannung sich in den Strom mit negativer Spannung hinein ergiesst, hat zweifellos ihre grosse Schwierigkeit. Wenn in der Mitte des Leiters gleich grosse positive und negative Spannung ($_{+}p$ $_{-}p$ Fig. 3 pag. 15) existirt, die sich ausgleichen, wie soll da noch jenseits der Mitte Spannung möglich sein?

Dieser Schwierigkeit steht aber, wenn wir der herrschenden Lehre folgen, eine andere noch grössere gegenüber.

So viel ich aus der Literatur entnehme, stellt man sich gemeinhin vor, dass der elektrische Strom durch den Leiter hindurch von

einem Pol zum anderen geht, und man kann sich den Strom auch nicht anders vorstellen. Wenn aber die Spannung je eines Stromes schon in der Mitte des Leiters Null würde, nimmer könnte er über die Mitte hinaus sich ergiessen. Wo einmal Spannung Null ist, dort kann nichts weiter strömen. Es scheint mir daher eine nothwendige Forderung zu sein, dass die Spannung sowohl des negativen wie des positiven Stromes erst am gegenseitigen Pole, respective an der Elektricitätsquelle Null werde. Und wenn sich an diese Forderung Consequenzen knüpfen, die wir nicht verstehen, so ist sie darum nicht minder nothwendig. Angesichts dieser Sachlage glaubte ich gut zu thun, nur den Consequenzen jener Experimente Rechnung zu tragen, die ich in Abschnitt VIII näher beschreiben werde.

IV.

Historische Bemerkungen über das Zuckungsgesetz.

Ich wende mich nun an die Hauptangelegenheit, welcher diese Schrift gewidmet ist und will zunächst die Sachlage in Kürze skizziren. Es handelt sich um die Frage, von welchen Umständen es abhängt, dass ein und derselbe Nerv an ein und derselben Strecke einen und denselben einbrechenden Strom mit ungleich grossen Zuckungen beantwortet, je nach der Richtung des Stromes, je nachdem der Strom im Nerven (vom Centrum) aufsteigt oder zur Peripherie absteigt.

Ich habe die Geschichte dieser Frage schon in meiner Abhandlung über das Zuckungsgesetz dargelegt. Dennoch aber muss ich hier, des besseren Verständnisses wegen, aus jener Darstellung einige Abschnitte wiederholen, und zwar zunächst meine historische Bemerkung über die Bedeutung der Stromrichtung.

„In der historischen Darstellung von Du Bois-Reymond[1]) wird Pfaff als der Entdecker des Zuckungsgesetzes genannt, und es könnte den Anschein gewinnen, als ob schon Pfaff auch die Bedeutung der Stromrichtung gewürdigt hätte. Nun hat Pfaff wohl die Entdeckung gemacht, dass man von zwei gegebenen Stellen des galvanischen Froschpräparates, das ist also bei der Bewaffnung beider Ischiadici, an je einem Schenkel verschieden intensive Zuckungen auslösen kann, wenn man die beiden Armaturen gegenseitig ihre Plätze tauschen lässt. Dass es aber die Stromrichtung im Nerven sei, von welcher die Zuckungen abhängen, das hat Pfaff nicht ausgesprochen.

Erst nachdem die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Magnetnadel entdeckt war, und man also ein Mittel besass, die verschiedene Lage der Metalle zum Nerven durch die Bewegungen der Magnetnadel zu controliren, wurde es den Physikern und Physiologen nahe gelegt, ihr Augenmerk hauptsächlich auf die supponirte Strom-

---

[1]) Unters. über thier. Elektricität. Bd. I.

richtung zu wenden. So kam es also, dass Nobili, als der erste[1]), welcher die Oersted'sche Entdeckung für die Nervenphysiologie nutzbar gemacht hat, anstatt die Lage der Pole am Nerven zu beschreiben, kurzweg die Richtung des Stromes im Nerven nannte. Diese Benennung hatte den Vorzug der Kürze und konnte an und für sich zu keinem Irrthume Veranlassung geben: denn je einer bestimmten Lage der Metalle entspricht ja — von secundären Störungen abgesehen — ausnahmslos eine bestimmte Bewegung der Magnetnadel.

Nobili ging indessen einen Schritt weiter, als er den Erfahrungen entsprechend hätte gehen dürfen, indem er sagte: Die beiden Ströme (der absteigende und der aufsteigende[2]) wirken verschieden auf den Nerven und ändern ihn in je einer besonderen Weise. Ob es aber wirklich der Wechsel der Stromrichtung am Nerven sei, welche den Wechsel der Erscheinungen bedingt, konnte er, wie folgende Betrachtung lehren wird, nicht sicher wissen.

Um die Stromrichtung im Nerven zu ändern, muss man die Lage der Pole vertauschen. Es kommen also Kathode und Anode bei jedem solchen Tausche an andere Stellen zu liegen; die verschiedenen Stellen könnten gegen die Vorgänge an der Anode und an der Kathode verschiedene Empfindlichkeit besitzen, und so die wechselnde Intensität der Zuckungen bedingen, welche sich an die Vertauschung der Pole knüpft.

Nun könnte man zwar dieser Kritik gegenüber einwenden, dass eine bestimmte Stromrichtung immerhin mit einer bestimmten Anordnung der Pole unzertrennlich associirt sei. Worin immer also die eigentliche Ursache der Erscheinungen begründet sein mag, so knüpfe sie sich unter allen Umständen an eine Stromrichtung, und es sei daher unverfänglich, die Richtung als Indicium der Versuchsanordnung zu gebrauchen.

Dieses Indicium ist aber doch nicht so ganz unverfänglich, als es dem angeführten Einwande gemäss erscheinen könnte. Ich werde später darthun, dass dieses Indicium zu einer irrigen und für die Entwicklung der ganzen Lehre nachtheiligen Auffassung geführt hat. Vorläufig will ich es versuchen, den von Nobili eingeführten Brauch durch ein Gleich-

---

[1]) Ich benütze für diese Behauptung Du Bois-Reymond's historische Darstellung.

[2]) Les deux courans, direct et inverse, agissent différemment sur le nerf, et l'altèrent chacun d'une manière particulière. Annales de chimie et de physique. Tome XLIV (1830) pag. 72.

niss zu kritisiren; durch ein Gleichniss, welches mir geeignet scheint, den Leser jetzt schon über die Auffassung zu orientiren, welche ich im Verlaufe dieser Schrift vertreten werde. Man denke sich eine nach Süd und Nord orientirte, und über einen Bergrücken führende Strasse. Bei einer gegebenen Triebkraft wird ein Wagen auf dem südlichen Abhange südwärts rascher fahren, wie nordwärts; auf dem nördlichen Abhange wieder nordwärts rascher wie südwärts. Hier coincidirt also an jeder Berglehne eine bestimmte Geschwindigkeit mit der Fahrt nach je einer Himmelsrichtung. Nun könnte Jemand die einschlägigen Erfahrungen wie folgt formuliren: An einer Strecke dieser Strasse überwiegt die Geschwindigkeit der nördlichen Fahrrichtung über jene der südlichen Richtung, an der anderen Strecke finde das Umgekehrte statt. So lange es sich nur um die Description des speciellen Falles handelt, lässt sich auch gegen eine solche Formulirung kein Einwand erheben. Wenn sich aber der Descriptor auf den Standpunkt des Physikers stellen, und behaupten wollte, er habe hier ein Gesetz gefunden; das Gesetz nämlich, dass an einer bestimmten Strecke der Strasse die Triebkraft bei der nördlichen Fahrrichtung mehr leiste als bei der südlichen, dann müssten wir ihn schon zur Vorsicht mahnen. Wir müssten ihm sagen, dass er seine Versuche über die Fahrgeschwindigkeit in verschiedenen Himmelsrichtungen noch viel zu wenig variirt habe, um zur Aufstellung eines Gesetzes zu gelangen. Wir müssten ihn darauf aufmerksam machen, dass die Richtung der Strasse vielleicht etwas ganz Nebensächliches, dass die ganze Erscheinung vom Bergrücken abhänge und dann nur einen Specialfall des Gesetzes der Schwere darstelle.

Genau so verhält es sich mit der Behauptung Nobili's und seiner Anhänger, dass die Stromrichtung es sei, welche die Zuckungen dominirt. Ich werde zeigen, dass an dem Nerven einerseits die grössere Empfindlichkeit gewisser Strecken, und andererseits die ungleich intensiven Leistungen an der Kathode und Anode ähnliche Variationen in der Leistung gewisser Stromrichtungen bedingen, wie es im Gleichnisse von der Berglehne im Zusammenhange mit der Schwerkraft ausgesagt wird“.

Ich habe das Gleichniss mit dem Bergrücken aus Rücksicht für eine Thatsache gewählt, deren Entdeckungsgeschichte ich gleichfalls schon in meiner citirten Abhandlung in drei Abschnitten mitgetheilt habe, und hier abermals vollinhaltlich wiedergeben will.

A.

Das modificirte Experiment Valli's über eine ungleiche Empfindlichkeit verschiedener Strecken des Nervus ischiadicus.

Ich senke den positiven Pol einer Daniell'schen Kette in den Rumpf eines Froschpräparates, während ich mit dem anderen Pole den Ischiadicus [1]) abtaste. Den Widerstand richte ich so ein, dass die Stromintensität für die Lage des tastenden Pols an einer oberen Nervenstrecke vom oberen Ende des Oberschenkels gerechnet, eben unzureichend wird, um eine Zuckung auszulösen. Wenn ich nunmehr den tastenden Pol (sprungweise) nach abwärts verschiebe, komme ich alsbald auf eine Stelle, von welcher aus eine ausgiebige Zuckung ausgelöst wird.

Führe ich den tastenden Pol wieder zurück, so komme ich alsbald wieder auf die minder empfindliche Strecke, von welcher die bestimmte Stromintensität keine Zuckung auszulösen vermag; führe ich den Taster nochmals abwärts, bekomme ich wieder Zuckung; kurz ich kann den Versuch mehrmals wiederholen und mich davon überzeugen, dass es die verschiedene Lage des Tasters ist, welche die Verschiedenheit des Effects bedingt

Taste ich den Ischiadicus vom Becken bis an das Knie herunter ab, so zeigt es sich weiter, dass eine bestimmte Stromintensität, für etwa ein oberes Drittel dieser Strecke unzureichend bleiben kann, während sie im mittleren und letzten Drittel (das unterste Ende in der Länge von etwa 2 Mm. ausgenommen) Zuckungen auslöst.

Die Grenzen, welche ich hier angebe, sind nicht ganz genau und passen vielleicht nicht für alle Fälle. Wollte man auf ein genaues Mass ganz verzichten und auch von den sehr geringen (später zu erwähnenden) Unterschieden absehen, die sich zwischen den Leistungen des mittleren und unteren Theiles der Oberschenkelstrecke ergeben, so könnte man sagen, dass sich der Nerv bei der genannten Anordnung in der unteren Hälfte empfindlicher zeigt, als in der oberen Hälfte.

Der Versuch, über welchen ich hier berichte, ist in ähnlicher Weise schon von Valli angestellt worden. Du Bois-Reymond [2]) hat aber eine Auffassung jenes Versuches eingeführt, welche, wie mir scheint, dem historischen Thatbestande nicht entspricht.

---

[1]) Rumpf und Unterschenkel liegen auf gesonderten Glasplatten, während der Ischiadicus, welcher die natürliche Verbindung zwischen beiden herstellt, durch die Luft gespannt ist.

[2]) Unters. über thier. Elektr. Bd. I. pag. 309 und pag. 322.

Der Bericht Valli's lautet im Original wie folgt:

„J'avais plusieurs grenouilles préparées dans un vase rempli d'eau. J'en prends une: les nerfs étaient beaux. J'armai l'épine et établis communication entre l'épine même et les nerfs. Les mouvemens ne se font pas. Je mets à découvert les nerfs en haut d'une cuisse. Je fais ici l'armature: mon excitateur réveille des oscillations et des tremblemens. Quelques instans après j'arme à la même hauteur les nerfs de l'autre jambe. Je l'essaie, la jambe ne se remue pas. Je descends quelques lignes: elle reste encore immobile. Je suivis les nerfs et je parviens enfin à avoir les signes, que je cherchais. Beaucoup de grenouilles furent assujetties aux mêmes recherches. Je trouvai constamment, qu'en portant de haut en bas l'armature dans les nerfs et les essayant à chaque ligne, c'est-à-dire, établissant le cercle entre l'armature et le nerf, on parvenait à ce point, qui était propre à l'expérience. C'est par ce moyen, que je pouvais découvrir les derniers résidus de vitalité des animaux. Il s'ensuit d'ici que cette manière d'être des nerfs, par laquelle ils ont le pouvoir de faire naître les mouvemens musculaires; cette vie des nerfs, dirai-je, est plus inhérente à leurs extrêmités, qu'à leur origine [1]).

Die Worte Valli's „cette vie des nerfs, est plus inhérente à leurs extrêmités, qu'a leur origine" sind nun dahin gedeutet worden, dass der Nerv vom Centrum gegen die Peripherie abstirbt. Du Bois-Reymond verglich daher den Fund Valli's mit einem — wie er bemerkt — ausser allem Zweifel stehenden Nysten'schen Gesetze, nach welchem die Todtenstarre, der Tod der Muskeln, von den dem Gehirne näher gelegenen Theilen des Thieres nach den entfernteren zu, fortschreitet.

Die historische Darstellung von Du Bois-Reymond ist auch für die spätere Literatur massgebend geblieben, und so wird denn auch noch bis in die neueste Zeit herein gelehrt, Valli habe das Absterben der Nerven vom Centrum gegen die Peripherie entdeckt. Mir scheint aber, dass Valli durch die angedeutete Beobachtung etwas Anderes gefunden habe, als die Richtung, nach der das Absterben fortschreitet.

---

[1]) Observations sur la physique etc. Paris 1792. Achter Brief. pag. 436. Aus dieser Mittheilung Valli's ist ein Auszug in P. Sue's „Histoire du Galvanisme" (Paris 1802, Bd. I, pag. 57), und von da in Reinhold's „Geschichte des Galvanismus" (Leipzig 1803) übergegangen. Du Bois-Reymond hat nur die zuletzt genannte Quelle mit Angabe der Seitenzahl (pag. 38. 40) citirt, und es ist die Vermuthung nicht ausgeschlossen, dass er die Mittheilung Valli's nicht im Originale vor sich hatte.

Valli hat die Froschpräparate im Wasser aufbewahrt, um sich, wie aus einer anderen Stelle seiner Mittheilung hervorgeht, vor dem Einwande zu schützen, dass der Nerv an den höheren Strecken darum unempfindlich gewesen sei, weil er eingetrocknet und die Fähigkeit verloren habe, die Impulse zum Muskel zu leiten.

Warum hat aber Valli überhaupt an Nerven gearbeitet, auf welche sich ein solcher Einwand beziehen kann? Warum hat er seine Versuche nicht am frischen Nerven angestellt? Sollte man daher nicht dennoch vermuthen, dass er die Froschpräparate deswegen aufbewahrt hat, um den Fortschritt des Absterbens zu untersuchen? Ich glaube nicht, dass diese Interpretation zulässig ist, und zwar aus folgenden Gründen.

Valli hat über kein Hilfsmittel verfügt, um die Intensität der Reize variiren zu lassen. Wenn daher der Nerv des eben getödteten Thieres gegen sein Reizmittel von bestimmter Intensität so empfindlich war, um von jeder Stelle aus maximale Zuckungen auszulösen, so war er ausser Stande, an demselben frischen Nerven Unterschiede in der Empfindlichkeit verschiedener Strecken zu constatiren. Solche Unterschiede konnten sich (unter dieser Voraussetzung) für ihn erst bemerklich machen, nachdem die Nerven soviel an ihrer Erregbarkeit eingebüsst hatten, dass ein metallischer Bogen in der bestimmten Anordnung für einzelne Stellen unzureichend geworden war. So findet man es also begreiflich, warum sich Valli für die Zwecke dieses Experimentes einen Vorrath von Froschpräparaten angelegt hat, anstatt jedes Mal ein frisches Präparat anzufertigen.

Wenn nun Valli die Nerven solcher Präparate schon bei dem ersten Reizversuche an einer unteren Nervenstrecke empfindlicher gefunden hat, als einer oberen Strecke; so liegt hierin kein Grund zu der Annahme, dass er diesen Fund auf ein fortschreitendes Absterben bezogen habe. Seine Bemerkung, dass er unten die letzten Residuen der Vitalität angetroffen habe, reicht nicht aus um eine solche Annahme zu begründen. — Wenn zwei ungleich reizbare Strecken mit gleicher Geschwindigkeit absterben, so kann man zu einer gewissen Phase des Absterbens eben noch an einer Stelle die letzten Residuen der Reizbarkeit antreffen. Wer daher solche Residuen gefunden zu haben behauptet, hat damit noch nicht behauptet, dass das Absterben nach einer bestimmten Richtung fortschreitet. Um ein solches Fortschreiten annehmen zu können, müsste constatirt werden, dass der Nerv im frischen Zustande oben und unten gleich empfindlich sei, und erst nachträglich unten empfindlicher erscheine, wie oben. Valli lässt aber gar nicht durchblicken, dass er einen solchen Beweis auch nur angestrebt habe.

Da wir nun mit unseren jetzigen Hilfsmitteln leicht constatiren können, dass der frische Nerv ähnliche Verhältnisse bietet, wie sie Valli an herabgekommenen Präparaten gefunden hat, so erweist sich die Behauptung, dass die Nerven vom Centrum gegen die Peripherie hin absterben (von dem Gesichtspunkte der in Rede stehenden Versuche aus) überhaupt als unbegründet.

Nun wäre es sicherlich ungerecht, einem Forscher der eine wichtige Thatsache entdeckt hat, die Meinung unterzuschieben, er habe mit dieser Thatsache etwas beweisen wollen, was wir für falsch halten. trotzdem er diesen Beweis gar nicht angetreten hat, und auch nicht durchblicken lässt, dass er ihn habe antreten wollen.

Wir müssen uns an den historischen Thatbestand halten, und der lehrt uns, dass Valli unter bestimmten Versuchsverhältnissen den Nerven unten empfindlicher gefunden hat, wie oben.

Ich nenne den Versuch, welchen ich sub A vorgeführt habe, das modificirte Valli'sche Experiment, weil er uns mit Hilfe des Rheostaten zeigt, dass die grössere Empfindlichkeit der unteren Nervenstrecke nicht allein für das im Absterben begriffene Präparat, sondern auch für den ganz frischen Nerven gilt.

B.

Das Experiment von Pfaff über den Einfluss, den das Wachsthum der interpolaren Strecke auf die Zuckungen übt.

Wenn man einen Frosch wie früher (sub A) zubereitet, nur mit dem Unterschiede, dass der Kupferpol in den Unterschenkel gesenkt wird, so gestaltet sich das Resultat anders als in Fall A. Wenn man jetzt den Ischiadicus mit dem Zinkpole von unten nach oben abtastet. so ergibt sich das umgekehrte Verhältniss zu dem früheren Falle; jetzt zeigt eine untere Strecke die geringste Empfindlichkeit. Dieselbe Stromintensität, welche sich unten als unzureichend erweist, löst jetzt Zuckungen aus von der Mitte des Nerven und von einem oberen (unterhalb des Beckenausganges gelegenen) Abschnitte.

Aehnliche Versuche wie die sub A und B geschilderten, sind mit dem gleichen Erfolge schon von Pfaff (nach Valli) angestellt worden. Ich habe aber diese Versuche gesondert beschrieben, einerseits weil Valli, der vor Pfaff publicirt hat, nur über den ersten der beiden Versuche berichtet, und weil sie andererseits von Pfaff in ganz anderer Weise gedeutet wurden als von Valli. Jeder dieser Abschnitte A und B enthält also gleichsam die Entstehungsgeschichte je einer Hypothese.

Beide Versuche gehören jedoch zusammen, und ich will sie mit Rücksicht darauf, dass sie als die ältesten auf das Zuckungsgesetz bezüglichen Versuche angesehen werden dürfen, schlechtweg als „Grundversuche“ bezeichnen.

Pfaff berichtet über diese Grundversuche mit folgenden Worten:

„So waren bei der Berührung des Schenkels die Zuckungen am lebhaftesten, wenn die Armatur nach oben, und bei der Berührung des Obertheiles, wenn die Armatur nach unten gegen den Eintritt in den Schenkel angebracht war“ [1]).

Unter „Berührung“ wird hier die mit dem metallischen Bogen gemeint. Berührung des Schenkels heisst also nichts Anderes, als dass ein Pol am Schenkel, der andere am Nerven lag. In diesem Falle war die Zuckung am lebhaftesten, wenn dieser andere Pol nach oben (am Nerven) angebracht war; eine Behauptung, mit welcher die Ergebnisse meines zweiten Versuches übereinstimmen. Den umgekehrten Fall, und die volle Uebereinstimmung mit dem ersten Grundversuche Valli's deutet hingegen „die Berührung des Obertheiles“ an; denn hier trat wieder die lebhafteste Zuckung dann ein, wenn der andere Pol tief unten in der Nähe des Unterschenkels lag.

Ich habe meinen Versuch mit der Bemerkung eingeführt, dass ich die Anode fixire, und die Kathode wandern lasse; davon ist nun weder bei Valli noch bei Pfaff die Rede. Valli hat ja von einem Wechsel in der Lage der Metalle überhaupt nicht gesprochen, und Pfaff erwähnt dieses Wechsels wenigstens bei der citirten Beschreibung nicht. Ich werde aber später zeigen, dass diese Unterlassung der Güte des Fundes von Valli und Pfaff keinen Eintrag thut.

Pfaff hat die in Rede stehenden Phänomene auf die Zunahme der nackten Nervenstrecke bezogen, welche zwischen den beiden Armaturen enthalten war. Nach der jetzt üblichen Ausdrucksweise hiesse das so viel als, die Erscheinung sei durch das Wachsthum der intrapolaren Strecke bedingt. Wenn also die Anode am Schenkel liegt und die Kathode den Nerven entlang vom Knie bis zum Becken entlang geschoben wird, so erwiese sich nach Pfaff das unterste Nervenstück unempfindlicher, weil bei einer unteren Lage des tastenden Poles die intrapolare Strecke noch zu kurz ist. Aus demselben Grunde müsste natürlich bei der Fixirung der Anode am Becken eine obere Nervenstrecke die geringste (scheinbare) Empfindlichkeit zeigen.

---

[1]) Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit, Leipzig 1795. pag. 24 und 25.

Eine genauere Beobachtung der Grundversuche lässt indessen Einzelheiten erkennen, welche einer solchen Deutung nicht durchwegs günstig sind.

Es ergibt sich nämlich, dass man bei dem sprungweisen Verschieben des Tasters, in einer mittleren Region der Oberschenkelstrecke die maximale Leistung auslöst, die dann bei weiterer Vergrösserung der intrapolaren Strecke nicht mehr wächst, ja sogar etwas abnimmt.

Wenn man die Anode am Schenkel fixirt und mit der Kathode den bis an die Wirbelsäule frei präparirten Nerven seiner ganzen Länge nach abtastet, so zeigt es sich ferner, dass die Kette weniger leistet, wenn die Kathode den Nerven oberhalb des Beckenausganges berührt, als wenn die Mitte der Oberschenkelstrecke bewaffnet wird. Ebenso findet man bei Fixirung der Anode am Rumpfe, dass die Kette weniger leistet, wenn die Kathode an einer ganz tiefen Stelle des Nerven (unmittelbar vor dem Eintritte in den Unterschenkel) als wenn sie in der Mitte der Oberschenkelstrecke liegt. In beiden Fällen zeigt sich also, dass das Wachsthum der interpolaren Strecke nicht immer eine Zunahme, sondern zuweilen eine Abnahme der Leistungen im Gefolge hat.

C.

Experimente über ein ungleiches Verhalten verschiedener Strecken des Nervus ischiadicus gegen den elektrischen Strom.

Ein ungleiches Verhalten verschiedener Strecken desselben Nerven ist im Jahre 1850 durch Helmholtz bekannt geworden[1]). Helmholtz hat nämlich den Ischiadicus des Frosches — behufs Ermittelung der Leitungsgeschwindigkeit — an einer vom Muskel entfernteren und einer dem Muskel näheren Strecke gereizt, und dabei gefunden, dass der Nerv in der Nähe des Muskels einmal gegen den aufsteigenden Strom empfindlicher war, als gegen den absteigenden, ein anderes Mal wieder an einer entfernteren Strecke gegen den absteigenden Strom empfindlicher war, als gegen den aufsteigenden.

Zwei Jahre später hat Jul. Budge „über ein ungleiches Verhalten verschiedener Nervenstrecken" in zwei Mittheilungen Bericht erstattet. In der ersten Mittheilung[2]) sagte er, dass man eine um so

---

[1]) Dieser Fund ist unbeachtet geblieben, bis ihn L. Herrman in seinem Handbuche, Bd. II, I, pag. 118, neuerdings bekannt gemacht hat.

[2]) Froriep's Tagesberichte 1852, Nr. 445.

grössere Kraft anwenden müsse, um Zuckung hervorzubringen, je näher der Insertion in den Muskel man den Nerven reizt. In einer zweiten Mittheilung[1]) widerruft er aber die früheren Angaben und erklärt, dass sich eine Stelle (etwa das zweite Viertel vom Oberschenkelverlaufe) des N. ischiadicus durch ihre Reizbarkeit auszeichnet. Jul. Budge hat die Reizungen mit Inductionsströmen ausgeführt, er macht aber weder eine Angabe über die Spannweite der Elektroden, noch auch über die Richtung des Stromes.

Nach Budge hat Pflüger wieder die höheren, der Wirbelsäule näheren Nervenstrecken als die empfindlicheren bezeichnet[2]), doch ist auch aus dieser Angabe nicht zu entnehmen, ob sie sich auf beide Stromrichtungen bezieht oder nicht.

1873 hat Herrman jene Unterschiede, welche schon Helmholtz in einzelnen Fällen erkannt hatte, als regelmässe Vorkommnisse beschrieben, und zwar, wie er später hinzugefügt hat, ohne die citirten Angaben von Helmholtz gekannt zu haben.

In allen Versuchen, berichtet Herrman[3]), folgte das Auftreten des Tetanus einem deutlich in die Augen springenden Gesetze: War der Strom aufsteigend, so trat der Tetanus stets leichter, respective bei schwächeren Strömen auf in der unteren Stromlage; war aber der Strom absteigend, so war der Tetanus begünstigt durch die obere Stromlage. In einer Reihe ad hoc angestellter Versuche bestätigte sich dieses Gesetz durchgängig, sobald überhaupt Tetanus auftrat. Ferner zeigten auch die Schliessungszuckungen der schwachen Ströme eine analoge Beziehung. Sobald überhaupt Unterschiede in der Stärke der Schliessungszuckung beider Stromlagen vorkamen, war stets bei aufsteigendem Strome in der unteren Stromlage, bei absteigendem in der oberen die stärkere Schliessungszuckung vorhanden.

1875 berichtete[4]) endlich Fleischl, ohne seine Vorgänger zu nennen, über einen analogen Befund, in einer besonderen Abhandlung. „Für elektrische Reize“ lautet das Résumé, mit welchem der wesentliche Theil dieser Abhandlung schliesst, „sind die Nerven an hochgelegenen Stellen empfindlicher als an tiefgelegenen, wenn die reizenden Ströme in ihnen eine absteigende Richtung haben; sie sind aber an

---

[1]) Ibid. Nr. 509.

[2]) Unters. ü. d. Physiologie d. Elektrotonus. Berlin 1859, p. 141.

[3]) Pflüger's Archiv, Bd. VII, pag. 364.

[4]) Unters. über d. Gesetze der Nervenerregung. Sitzungsb. d. Wien. Akad. d. Wissensch. Bd. 72.

tiefgelegenen Stellen empfindlicher als an hochgelegenen, wenn die Ströme in ihnen eine aufsteigende Richtung haben“.

In einer folgenden Abhandlung hat Fleischl noch hinzugefügt, dass sich „irgendwo im Verlaufe des Nerven eine Stelle findet, an welcher der Nerv für auf- und absteigende Ströme gleich reizbar ist“. Diese Stelle nannte er den Aequator. Je weiter man sich von diesem Aequator entfernt, um so grösser, sagt er, werde der Unterschied in der Wirksamkeit der beiden Stromrichtungen.

Da ich auf die hier berührten Thatsachen wiederholt zurückkommen werde, will ich die Experimente über die verschiedenen Leistungen verschieden gerichteter Ströme an bestimmten Nervenstellen als „Alternativversuche“ bezeichnen.

Dies war der Stand der Dinge, als ich jene Untersuchungen aufnahm, deren Ergebnisse zu meiner schon oft citirten Schrift über das Zuckungsgesetz geführt haben, und welche in Kürze, wie folgt, lauten: Die Thatsachen, über welche unter dem Namen „Grundversuche“ und Alternativversuche berichtet wurde, sind alle richtig. Die Deutung aber, dass die Richtung des Stromes es ist, welche über die Grösse der Zuckung entscheidet, sagte ich, sei nicht zulässig.

Um das Verständniss meiner weiteren Erörterung zu erleichtern, halte ich es für zweckmässig, den Hauptsatz, welchen ich an Stelle der alten Lehre vorgebracht habe, zu zergliedern, die einzelnen Stücke desselben aufzuzählen und dann erst dasjenige anzufügen, was ich an Beweisen aufbringen kann. Dieser Hauptsatz besteht aus zwei Theilen, deren ersten ich schon früher vorgebracht habe, und der dahin lautet, dass der Nerv respective der Muskel nur auf den negativen Strom reagirt, allerdings wie ich ferner hinzufügen muss, nur insolange er vollständig normal ist und nur innerhalb gewisser Intensitätsgrenzen des Stromes.

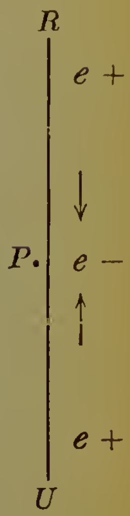
Wenn also beide Elektroden an den Nerven gelegt werden, und der Strom eben zureichend gemacht wird, um eine Schliessungs-Zuckung auszulösen, so heisst das so viel, als dass die negative Spannung, mit welcher der Strom von der Kathode aus einbricht, eben ausreichend sei, oder mit genügender Steilheit ansteige, um eine Zuckung auszulösen.

Der zweite Theil meines Hauptsatzes sagt aus, dass der Hüftnerv an einer Stelle seines Verlaufes am Oberschenkel am empfindlichsten sei. Diese Stelle nannte ich die Kuppe.

Wenn also $R\ U$ (Fig. 7 pag. 31) die Oberschenkelstrecke des Hüftnerven darstellt, so mag P die Kuppe (etwas unterhalb der Mitte gelegen) andeuten, wo der Nerv am empfindlichsten, und von da

nehme die Empfindlichkeit gegen den Rumpf (R) sowohl wie gegen den Unterschenkel (U) hin ab.

Fig. 7.



Wenn ich also die obere Strecke des Nerven ($R\ P$) bewaffne, so erweist sich der absteigende Strom wirksamer, weil die Kathode als der allein wirksame Pol [1]) auf der empfindlichsten Stelle liegt. Aus demselben Grunde ist an der unteren Strecke der aufsteigendste Strom am empfindlichsten.

Der Kürze wegen habe ich den Inhalt des ganzen Hauptsatzes „Prävalenz-Hypothese" genannt. „Prävalenz" deswegen weil die Hypothese auf der Annahme beruht, dass ein Pol über den anderen in seiner Wirksamkeit und eine Strecke des Nerven über alle anderen in ihrer Reizbarkeit prävalirt.

---

[1]) Der Ausdruck ist nicht ganz genau und wird später corrigirt werden.

V.

Ueber die Prävalenz der Kathode.

Ich bewaffne erst den Nerven, wie die Fig. 8 lehrt, in einer mittleren Strecke mit einem Platinpol (t) und mit einem nassen Faden

Fig. 8.

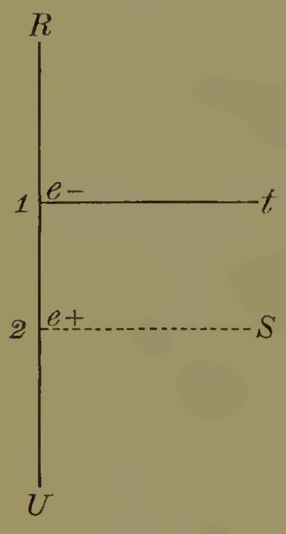
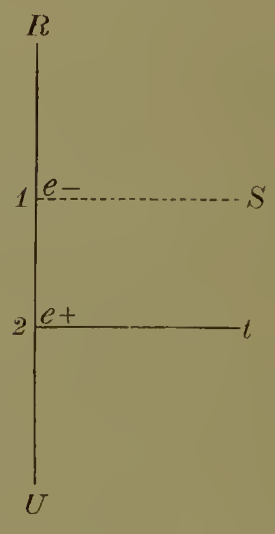


Fig. 9.



(S), an welchen der andere Platinpol gelegt wird. Der Strom steigt, wenn der nasse Faden, wie in Fig. 8 den positiven Strom zuführt, im Nerven (zum Rumpfe R) auf. Ich mache den Strom eben zureichend, um eine Zuckung auszulösen. Nun wechsle ich die Pole. Die Platinspitze t lege ich an die Stelle 2 (Fig. 9), den nassen Faden an die Stelle 1, überdies commutire ich den Strom, so dass jetzt das Platin den positiven Strom direct an den Nerven führt. Die Stromintensität lasse ich unverändert; die Richtung im Nerven bleibt dieselbe, der positive und negative Strom dringen jetzt genau an derselben Stelle in den Nerven wie früher. Nichts hat sich also an den Versuchsbedingungen geändert, als dass das Nervenstück 1, 2, das einen Theil des

linearen Leiters zweiter Ordnung ausmacht, das eine Mal (Fig. 8) an der Kathode und das andere Mal an der Anode liegt. Und doch ist die Zuckung in dem ersten Falle grösser als in dem letzteren.

An frisch eingefangenen Frühjahrs- und Spätjahrs-Exemplaren werden die Unterschiede so gross, dass man auf der einen Seite (Nerv an der Kathode) eine sehr ausgiebige Zuckung erhält, während auf der anderen Seite (Nerv an der Anode) keine Zuckung eintritt. Merkliche Unterschiede habe ich übrigens noch an Exemplaren gefunden, welche im Früh- und Spätjahre viele Tage in der Gefangenschaft gelebt hatten. Wie es sich endlich während der heissen Tage im Hochsommer und während der Wintermonate mit diesem Versuche verhält, kann ich nicht bestimmt aussagen. In den sehr heissen Tagen fiel ein erster Reizversuch noch im Sinne der Beschreibung aus, die folgenden Reizungen aber brachten schon abweichende Resultate. Die Nerven verlieren eben unter solchen Verhältnissen sehr bald ihre normale Reactionsfähigkeit. Und ich brauche diesen Umstand nicht näher zu discutiren, da es stattsam bekannt ist, dass die neuroelektrischen Versuche in unserem Klima mit Erfolg nur zu gewissen Monaten des Jahres ausgeführt werden können.

Die Erfolge des eben beschriebenen Versuches lassen nur eine Deutung zu.

Der Unterschied in den Erscheinungen kann nur in den Verschiedenheiten der Lage der Pole zum Nerven begründet sein. Der lineare Leiter zweiter Ordnung muss sich beim Kettenschlusse an der Kathode anders verhalten wie an der Anode, und der Nerv muss diesem verschiedenen Verhalten gegenüber verschieden reagiren.

Nun gehen wohl an den polarisirbaren Elektroden auch Zersetzungs-Processe vor sich, und es könnte der Meinung Raum gegeben werden, ob bei diesem Unterschiede nicht auch der Unterschied in den Ausscheidungsprodukten in Betracht komme.

Ich habe aber einerseits durch die Speculation gezeigt, dass die Polarisation auf die Schliessungszuckung keinen Einfluss nehmen kann. Andererseits habe ich die Versuche auch mit gleichartigen Elektroden von vorzüglicher Construction ausgeführt; mit Elektroden, an welchen die Ströme, die hier in Betracht kommen, keine, bei der empfindlichsten Stellung meiner Boussole noch erkennbare, Polarisation bewirkt hatten.

Die Annahme, dass es der Chemismus sei, welcher bei Schliessung der Kette den beschriebenen Unterschied in der Reaction hervorruft, ist also ausgeschlossen. Dennoch aber will ich der Sache noch einige Bemer-

kungen widmen, weil ein Experiment ins Feld geführt wurde[1], welches angeblich geeignet ist, in den chemischen Erfolgen des Stromes eine befriedigende Erklärung der von mir beobachteten Verhältnisse zu geben.

Ich habe zur Zeit, als ich meine erste Abhandlung über das Zuckungsgesetz niederschrieb, den hier geschilderten Versuch noch nicht gekannt, ich war aber zu ähnlichen Ergebnissen durch ein anderes Experiment gelangt.

Ich habe zwischen den Elektroden e_+ e_- einen nassen Faden gespannt und den Nerven N quer darüber gelegt. Wenn nun der Faden

Fig. 10.



e_- e_+ die Kette schliesst, bekommt der Nerv einen Zweigstrom, der in ihn mit entsprechender positiver oder negativer Spannung einbricht, je nachdem er an der Anode oder an der Kathode liegt. Nun ergab es sich, dass die Zuckung zunächst nur an der Kathode ausgelöst wird. Je weiter die Intensität des Stromes gehoben wurde, um so mehr breitete sich die wirksame Strecke des Fadens aus.

Ich werde auf diesen Versuch und auf die allmälige Ausbreitung der Wirksamkeit des Stromes später noch einmal zurückkommen. Vorerst will ich mich mit den Einwänden beschäftigen, welche gegen die Beweiskraft jenes Versuches erhoben wurden.

Der Einwand lautet wie folgt:

„Ein mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchteter Baumwollfaden von 3—4 Cm. Länge wurde mit seinen Enden auf zwei Platindrähte gelegt, durch welche ihm ein Strom von zwei Grevet'schen Elementen zugeleitet wurde. Nachdem der Strom etwa zwei Minuten lang durch den Faden gegangen ist, prüft man die chemische Reaction des Fadens an einem Lackmus-Gypsplättchen. Es zeigt sich, dass die eine Hälfte des Fadens sauer, die andere alkalisch reagirt, und zwar nimmt die Deutlichkeit der Reaction von der Mitte des Fadens gegen die Enden hin zu“.

Nun hat eine besonders angestellte Prüfung ergeben, dass der Nerv nach dem Eintauchen in schwach alkalische Lösungen viel empfindlicher war, als nach dem Eintauchen in schwach saure Lösungen. „Diese Thatsache im Zusammenhange mit der früher erwähnten von der Theilung des Fadens in eine saure und alkalische Hälfte, sollte also

[1]) Fleischl, Das Zuckungsgesetz im Arch. Du Bois-Reymond 1882.

eine befriedigende Erklärung der von mir beobachteten Thatsache geben". Nahe an der Kathode des Fadens (so lautet die Widerlegung) ward der Faden zugleich alkalisch gemacht, so dass nun ein elektrischer Reiz von gegebener Stärke hinreichen mochte, um ihn zu erregen. Nahe der Anode wurde der Nerv zwar von dem gleichen Reize betroffen, aber auch sauer, folglich unempfindlicher gemacht, und somit reichte der früher wirksame Reiz jetzt nicht mehr aus um ihn zu erregen.

Prüfen wir nun den Werth dieser Gegenversuche.

Wenn der Nerv an der Kathodenseite des Fadens deswegen besser reagiren würde, weil der nasse Faden hier alkalisch gemacht wird, so dürfte diese bessere Reaction sich nicht schon bei der ersten Schliessung geltend machen, da ja die alkalische Reaction des Fadens eine Folge des Stromes ist. Es müsste zum mindesten die zweite Schliessung abgewartet werden, die dann einen grösseren Erfolg haben müsste als die erste, und zwar selbst dann haben müsste, wenn inzwischen ein in den Kreis geschalteter Commutator umgelegt, und dieselbe Stelle, welche früher Kathode war, jetzt zur Anode gemacht worden ist.

Denn es soll ja gar nicht darauf ankommen, ob der Nerv an der Anode oder Kathode, sondern nur darauf, dass er auf einer alkalisch oder sauer reagirenden Fadenstrecke liegt.

Wenn andererseits die geringere Erregung an der Anode von der sauren Reaction des Fadens herrührte, müsste der Nerv, wenn nach der zweiten Schliessung neuerdings commutirt wird, wieder schlechter reagiren, trotzdem er jetzt wieder an der Kathode liegt.

Führt man den Versuch in dieser Weise aus; macht man den Strom eben zureichend, um bei der ersten Schliessung (in der Kathodenlage des Nerven) eine kräftige Zuckung auszulösen; öffnet man ferner nach der Zuckung und commutirt, so erfährt man, dass bei der zweiten Schliessung keine Zuckung ausgelöst wird, trotzdem der Nerv jetzt auf einem alkalisch reagirenden Faden liegt. Oeffnet man wieder, commutirt abermals, so dass der Nerv wieder an der Kathode liegt, löst der Strom bei der dritten Schliessung wieder eine kräftige Zuckung aus, trotzdem der Faden vorher durch die Anode neutralisirt oder gar angesäuert worden ist. Es ist also sonnenklar, dass die chemische Reaction im Sinne jenes Einwandes gar nicht in Betracht kommen kann.

Ich kann es also nicht ernst nehmen, wenn Jemand einherkommt, einen Strom zwei Minuten durch einen Faden streichen lässt, um zu zeigen, dass der Faden an den Elektroden sauer und alkalisch wird (was sich von selbst versteht); und dann ohne Weiteres annimmt, dass es auch bei meinen elektrischen Versuchen die Alkalescenz und Säuerung

des Fadens war, welche den Unterschied zwischen Kathoden und Anodenlage des Nerven bewirkte. Vollends erheiternd aber ist die Deutung, welche in jenem Einwande den wiederholten Reizungen zu Theil wird. „Besonders bedenklich wird dieser Einwand" (heisst es auf pag. 18 jener Publication) werden, wenn man berücksichtigt, dass ein Urtheil über die Wirkung des Auflegens des Nerven auf eine bestimmte Stelle des feuchten Fadens sich wohl kaum auf einmaliges sondern erst auf wiederholtes Auflegen auf diese Stelle gründen liesse, und dass der Nerv also Zeit hatte sich an der untersuchten Stelle die saure oder alkalische Reaction seiner öfters mit ihm in Berührung gebrachten Unterlage anzueignen".

Kann es aber einem ernsten Menschen auch nur beifallen, diese Reizversuche, wenn man sie überhaupt an einer bestimmten Fadenstelle wiederholte, anders zu wiederholen, als unter Anwendung des Commutators? Hat es sich denn darum gehandelt, die Kathodenzuckungen unter einander zu vergleichen? Lag nicht der Tenor meiner ganzen Aussage auf einem Vergleich zwischen Kathode und Anode? Wenn Jemand zwei Rasirmesser zu vergleichen hat, wird er sich erst mit dem seiner Meinung nach schärferen Messer wiederholt rasiren, um es dann mit dem anderen zu vergleichen? Wird er, wenn er überhaupt schon so verführe, nicht die erste Leistung des Messers, sondern nur die folgenden Leistungen zur Basis des Vergleiches machen?

Nach der Mittheilung der citirten Betrachtungen sagt uns der Autor jener Publication, wie er es angestellt hat, um eine quere Durchströmung des Nerven herbeizuführen. Er hat den Strom durch einen mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllten Glastrog gesendet und den Nerven oder eine Nervenschlinge so in die Lösung gesenkt, dass er in ganz tadelloser Weise von Querströmen getroffen wurde. Bei dieser Anordnung zeigte es sich nun, heisst es daselbst, dass es ganz gleichgiltig sei, an welchem Ende des Troges sich der Nerv befindet; ob an der Anode oder an der Kathode, wenn nur alle übrigen Versuchsbedingungen dieselben sind, so sind es auch die Resultate.

So fehlerhaft nun auch die Betrachtungen sein mögen, welche zu diesem Experimente geführt haben, das Experiment selbst ist eine Thatsache, die nicht im Lichte einer vorausgegangenen Betrachtung besehen werden darf. Die Thatsachen haben ihre eigene und unerbittliche Logik, natürlich aber nur dann, wenn sie sich bestätigen. Das trifft jedoch bei dem Trogversuche nicht zu.

Eine Wiederholung des Versuches mit dem Glastroge hat mich darüber belehrt, dass jene als Thatsache vorgeführte Behauptung im

günstigsten Falle auf einer Ungeschicklichkeit im Experimentiren beruht. Der Nerv reagirt auf dem Troge genau so, wie auf dem nassen Faden. Allerdings habe ich mich auch bei dem Trogversuche des Commutators bedient, und nicht etwa den Nerven bald an das eine, bald an das andere Trogende geschoben. Die einzige Gewähr dafür, dass der Nerv seine Lage zum Troge in nichts geändert hat, mag er an der Anoden- oder Kathodenseite liegen, ist ja darin gegeben, dass man den Nerven unberührt liegen lässt, und nur den Commutator wirken lässt.

Auch habe ich meine Versuche in der günstigen Jahreszeit ausgeführt. Aber diese beiden Momente gehören ja eben zu den ersten Forderungen des Experiments, und es darf derjenige, der diese Grundbedingungen ausser Acht lässt, nicht den Anspruch erheben, dass seine negativen Erfolge als Thatsachen in Betracht gezogen werden.

Trotzdem ich indessen den Angriff auf meine Experimente mit der queren Durchströmung vollständig zurückgewiesen habe, so ziehe ich es doch vor, mich dermalen in meiner Exposition auf das Experiment mit der Längs-Durchströmung zu stützen. Es ist nämlich über den Werth der queren Durchströmung schon so viel gestritten worden, dass ich gar nicht zu ermessen vermag, welcher neue Einwand sich gegen meinen Versuch mit dieser Durchströmung noch erheben wird. Wenngleich nun meiner Ueberzeugung nach beide Versuchsformen für die in Rede stehende Frage von ganz gleichem Werthe sind, so will ich mich nicht auf ein Kampfterrain begeben, welches mir im Augenblicke sehr ferne liegt. Mir kommt es hier nur darauf an, zu zeigen, dass der Nerv zunächst an der Kathode erregt wird, und dazu reicht nach meiner neuen Anordnung der Versuche die Längsdurchströmung aus.

Variirt man bei dem in Rede stehenden Versuche die Stromintensität, so erfährt man, dass all das, was früher über den Gesammtstrom ausgesagt wurde, nunmehr für den negativen Strom giltig erscheint; die Erregung des Nerven hängt auch jetzt von der Steilheit ab, mit welcher sich die Spannungsänderungen vollziehen, womit implicite gesagt ist, dass die Erregung des Nerven zunächst von der Spannungsänderung an der Kathode oder anders ausgedrückt von der Grösse der negativen Spannung abhängt, mit welcher der Strom bei der Kettenschliessung in den Nerven einbricht.

Meine Versuche über die Prävalenz-Hypothese sind den Handhabungen der praktischen Aerzte nachgeahmt worden.

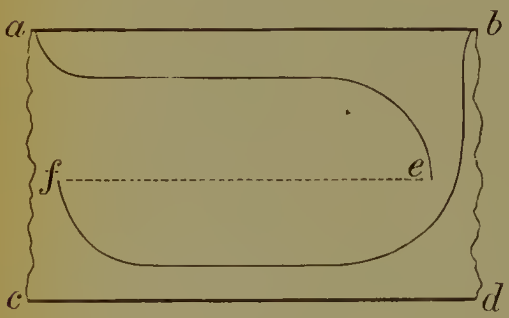
Die Aerzte legen die Anode an eine beliebige Körperstelle, und die Kathode möglichst nahe jenem motorischen Nerven, auf den sie wirken wollen. Unter dieser Anordnung wissen die Aerzte, zuckt der Muskel bei geringerer Stromesintensität wie unter der umgekehrten Anordnung; die Kathode sagten daher die Aerzte, wirke besser als die Anode; die Anode könne wo immer hin, also an eine *indifferente Stelle* gelegt werden; es komme nur darauf an, dass die Kathode an dem Nerven liege, auf den gewirkt werden soll. Daraufhin wurde auch die Regel aufgestellt, dass die Zuckungen bei der niedersten (eben zureichenden) Stromesintensität Kathodenschliessungs-Zuckungen sind, was in der Schrift durch K. S. Z. angedeutet wird.

Diese ärztliche Regel trifft bei normalen Nerven ausnahmslos zu; aber man sprach ihr die Beweiskraft ab, weil man annahm, dass man über den Verlauf der Ströme im menschlichen Körper keine genügende Kenntniss besitze. Man wisse nicht, wendete man ein, wie sich da die Stromzweige compliciren.

Ich habe diesen Einwand schon in meiner früheren Abhandlung durch einen fingirten Fall illustrirt.

Denken wir uns einen feuchten Fliesspapierbausch *a b c d*, Fig. 11, welcher von *a* bis *e* einen Kupferdraht und von *b* bis *f* einen zweiten Kupferdraht birgt. Nun denken wir uns weiter, dass zwischen *e* und *f* (in der punktirten Linie) ein Nerv läge. Wenn wir jetzt den positiven Pol an *a*, den negativen an *b* setzen, so werden wohl Ströme in der Richtung von *a* nach *b* laufen, der Nerv selbst würde aber dennoch hauptsächlich in der umgekehrten Richtung von *e* nach *f* durchströmt werden, weil er die mächtigsten Stromantheile von dem positiven Pol *e* zum negativen *f* erhielte.

Fig. 11.



Nun müssen die Bahnen *a e* und *b f* nicht gerade von Kupfer sein, um solche Effecte für den Nerven zu erzielen. Ein ähnliches Resultat könnte auch eintreten, wenn diese Bahnen überhaupt nur besser leiten, als die Umgebung.

Da nun über das Leitungsvermögen der verschiedenen Gewebslagen, welche den Thierleib zusammensetzen, noch keine entscheidenden Daten vorhanden waren, so kann man auch über die Stromrichtung in einem

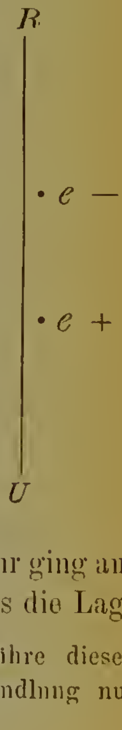
Nerven keine sichere Aussage machen, so lange der Nerv in seinem natürlichen Bette liegt, und die metallischen Stromgeber an die unverletzte Haut gesetzt werden.

Auf Grundlage solcher Betrachtungen wurden also die Erfahrungen, welche die Nervenpathologen am Menschen machen, für die Feststellung des Zuckungsgesetzes als unmassgeblich bezeichnet.

Eine darauf gerichtete Untersuchung [1]) hat indessen ergeben, dass sich die Sachen nicht so verhalten, wie es in dem obigen Schema dargestellt wurde. Wenn man in den Oberschenkel eines lebenden Frosches zwei Elektroden einsticht, so verläuft der Strom genau so, als man ihn construiren würde, unter der Voraussetzung, dass die ganze Masse ein gleichartiges Leitungsvermögen besitzt. Die gerade Verbindungslinie zwischen den beiden Elektroden enthält den Hauptstrom, während sich in allen anderen Verbindungslinien Zweigströme in der Richtung finden, als sie sein müssten, wenn jede dieser Verbindungslinien die einzige leitende Brücke zwischen den Elektroden wäre.

In je einer solchen Verbindungslinie interferiren wahrscheinlich verschiedene Ströme. Das was wir messen, ist also wahrscheinlich nur eine Resultante oder Dominante; aber es kommt uns ja eben nur auf diese an.

Fig. 12.



Eine weitere Untersuchung hat ergeben, dass wenn zwei Elektroden in den Oberschenkel eines Frosches gestochen werden, immer nur die Reizung jenes Nervenabschnittes den Ausschlag gibt, welches den kürzesten (besten) Zweigstrom enthält. Wenn also *R U* der Nerv (in seinen Weichtheilen liegend gedacht) $e_+ e_-$ die in die Weichtheile gesenkten Elektroden vorstellen, so wird nur die Erregung einer Nervenstrecke den Ausschlag geben, die getroffen würde, wenn die Elektroden unmittelbar am isolirten Nerven lägen.

Der gegen die Beweiskraft der ärztlichen Erfahrungen erhobene Einwand ist also nicht stichhältig. Meine in diesem Abschnitte mitgetheilten Versuche lehnen sich daher an jene tausendfältig erprobten Erfahrungen an.

Die Behauptung, dass der Nerv an der Kathode besser erregt werde, wie an der Anode, rührt übrigens von Pfaff her. Nur ging aus den Angaben Pfaff's nicht mit Nothwendigkeit hervor, dass es die Lage

[1]) Siehe meine Abhandl. Zuckungsgesetz pag. 68 u. ff. Ich führe diesen Versuch hier nicht noch einmal an, da er für die vorliegende Abhandlung nur von nebensächlichem Belange ist.

des Nerven an der Kathode sei, welche entscheidet; es konnte auch die Stromrichtung sein, welche den Ausschlag gibt. Dass es nicht die Stromrichtung, sondern nur die Lage des Nerven in der Kathode sei, ist meines Wissens von keinem Forscher so bestimmt ausgesprochen worden, wie es 1859 durch Chauveau[1]) der Fall war.

Chauveau hat indessen die Methode mit der Einschaltung indifferenter Strecken noch nicht gekannt; auch hat er sich keine Rechenschaft darüber gegeben, ob der Versuch am lebenden Thiere an Beweises statt zulässig sei; und so haben ihm auch die Mittel gefehlt, um den Beweis für seine Behauptung strenge zu erbringen. Dennoch hat er einen Versuch eingeführt, dessen ich später Erwähnung thun werde, und durch welchen er einer scharfen Beweisführung sehr nahe gekommen war. Gleichzeitig mit Chauveau hat Pflüger[2]) die besonderen Leistungen des Stromes an den Elektroden als Erklärung herangezogen. Wenn man die Aussage Pflüger's, dass beginnender Katelektrotonus eine Zuckung auslöse, auf das Mass der Erfahrung zurückführt, so besagt sie nichts Anderes, als dass bei der Schliessung des Stromes die Zuckung von der Kathode aus hervorgerufen werde. Ich habe indessen trotz aller Sorgfalt, welche ich der Lectüre der Pflüger'schen Schrift über den Elektrotonus gewidmet habe, nicht herausfinden können, durch welches Experiment er die Aussage in dem hier angezogenen Sinne erwiesen hätte.

---

[1]) Journal de la physiologie 1859. Bd. II. und III.

[2]) Untersuch. über die Physiol. d. Elektrot. Berlin 1859.

VI.

Die Kuppe der Empfindlichkeit.

Indem ich nun den einen Theil der Prävalenz-Hypothese als strenge erwiesen ansehen darf, schreite ich zu den Beweisen für den zweiten Theil der Hypothese. Dieser zweite Theil ist nach dem augenblicklichen Stande unseres Wissens von viel geringerer Bedeutung als der erste, und ich will ihn daher mit Rücksicht darauf, dass ich darüber schon in meiner ersten Abhandlung ausführlich gesprochen habe, hier nur in Kürze, nur insoweit es zur Beherrschung der ganzen Hypothese nöthig ist, darstellen.

Es handelt sich um die verschiedene Empfindlichkeit verschiedener Nervenstrecken. Meiner Annahme zu Folge ist der Hüftnerv des Frosches an einer Stelle, die etwa der Grenze zwischen mittlerem und unterem Drittel entspricht, am empfindlichsten und nimmt die Empfindlichkeit von hier nach oben gegen das Becken und nach unten gegen das Knie zu allmälig ab.

Der Beweis für die Existenz einer solchen Kuppe der Empfindlichkeit ist schon durch die Grundversuche gegeben. Wenn ich die Anode in den Rumpf senke und die Kathode am Hüftnerven vom Becken nach abwärts wandern lasse, so steigt die Wirkung des Stromes (caeteris paribus) mit dem Vorrücken der Kathode, bis endlich an einer bestimmten Lage der Kathode das Maximum der Wirkung eintritt. Mit dem Vorrücken der Kathode wächst zwar auch die interpolare Strecke. Die bessere Wirkung des Stromes könnte also auch darin begründet sein, dass grössere Nervenstrecken von dem Strome durchflossen werden. Wenn dem aber wirklich so wäre, so müsste die Wirkung des Stromes auch wachsen, wenn man die Kathode noch weiter über die Kuppe hinaus nach unten schiebt; was jedoch, wie schon pag. 28, Abs. 2 bemerkt worden ist, nicht zutrifft. Der Lehrsatz, dass die Wirksamkeit der Reize mit dem Wachsthume der interpolaren Strecke wachse, ist übrigens zu einer Zeit entstanden, da man die verschiedene Empfind-

lichkeit verschiedener Nervenabschnitte gar nicht gekannt hat. Der Lehrsatz müsste also jetzt neu erwiesen werden, um seine Geltung zu behalten. Es ist mir in der That auch gelungen, den Beweis zu führen, dass die Wirksamkeit der Reize innerhalb sehr kurzer Strecken (wenige Millimeter) mit der Zunahme der intrapolaren Strecke wachse [1]. Aber es ist die Frage offen geblieben, ob die Wirkung deswegen wächst, weil die Strecke grösser wird, oder weil sich die Anode von der Kathode entfernt, die einander in ihrer Wirkung auf den Nerven hemmen. Für etwas grössere Strecken gilt jener Lehrsatz gewiss nicht mehr. Hier entscheidet der Umstand, dass bei dem Wechsel der intrapolaren Strecke die Pole auf verschieden empfindliche Stellen zu liegen kommen. Dieser Factor summirt sich mit der Aenderung des Widerstandes, welcher durch die Längenunterschiede der Strombahn gesetzt wird.

Der Grundversuch ist also eigentlich ein Versuch, bei welchem der Nerv mit der Kathode abgetastet wird, um die Empfindlichkeit verschiedener Strecken zu prüfen; ein Versuch also in dem Sinne, wie ihn meiner Meinung nach Valli gedacht hat.

Dieses Beweisverfahren wird noch wesentlich dadurch unterstützt, dass man durch eine künstliche Verschiebung des empfindlichsten Punktes sofort auch die Ergebnisse des Alternativ-Versuches ändert.

Hier komme ich nun auf das Experiment zu sprechen, welches Chauveau [2]) zu Gunsten seiner Hypothese von der Kathoden-Prävalenz eingeführt hat, und von welchem ich früher sagte, dass es einem scharfen Beweise sehr nahe kam. Chauveau hat nämlich den Nerven durchschnitten und gezeigt, dass jene Anordnung der Pole die bessere ist, bei welcher die Kathode in der Nähe der Durchschnittsstelle liegt. Die Nähe der Durchschnittsstelle sagte er, ist von grösserer Empfindlichkeit als die übrigen Nervenstrecken, und die bessere Wirkung ist also darin begründet, dass die besser wirkende Elektrode auf einer empfindlicheren Nervenstrecke liegt. Wie man sieht, ist meine Prävalenz-Hypothese dieser Darstellung Chauveau's angepasst. Chauveau hat aber allerdings keinen der Sätze, aus welcher die Hypothese resultiren konnte, strenge erwiesen. Sein Beweis für die bessere Wirkung der Kathode war im Sinne der Aerzte erbracht, nur dass Chauveau die Versuche auch an Thieren (namentlich an Pferden) ausgeführt hat, und dieser Beweis war ja, wie ich gezeigt habe, anfechtbar. So lange man aber nicht sicher wusste, dass die Kathode besser wirkt, wie die Anode, konnte man

---

[1]) Siehe Zuckungsgesetz. Wiener Sitzungsber.

[2]) Journal d. Physiologie 1859. III. pag. 459 und 460.

auch aus dem Experimente mit dem durchschnittenen Nerven nicht mit Sicherheit jene Schlüsse ziehen, die Chauveau gezogen hat; denn die Annahme, dass der Nerv in der Nähe der Durchschnittsstelle am empfindlichsten ist, war an und für sich auch nicht strenge erwiesen.

Jetzt wo ich die bessere Wirkung der Kathode strenge erwiesen habe, gewinnt der Chauveau'sche Versuch ein ganz anderes Gewicht. Jetzt kann man, wenn beide Pole am Nerven liegen, jene Nervenstelle, welche caeteris paribus bei der Kathodenbewaffnung besser wirkt, als bei der Anodenbewaffnung, als die empfindlichere bezeichnen.

Die Thatsache, dass in der Nähe der Durchschnittsstelle die empfindlichste Nervenstrecke liegt, trifft aber nur bedingungsweise zu. Sie gilt nur für kräftige Frühjahrs-und Spätjahrs-Exemplare, und dann nur für ganz kurze Zeit nach der Durchschneidung.

Ich citire hier behufs genauerer Präcisirung dieser Aussagen jene Stellen aus meiner früheren Abhandlung, welche hierauf Bezug nehmen.

„Wenn ich den Ischiadicus eines kräftigen Frühjahrs-Frosches gleich nach dem Abgange der Oberschenkeläste durchschneide und den Alternativ-Versuch so ausführe, dass ein Pol zwei bis drei Millimeter unterhalb der Schnittstelle, der zweite Pol aber etwa in der Mitte des Nerven liegt; so erweist sich an dieser oberen Nervenstrecke der aufsteigende Strom wirksamer als der absteigende. Wartet man aber so lange ab, bis die in Folge des Schnittes gesteigerte Erregbarkeit in der Nähe der Schnittfläche wieder abnimmt, findet man das sogenannte Zuckungsgesetz wieder umgedreht; nunmehr überwiegt wieder der absteigende Strom über den aufsteigenden.

„Am 26. April 1881, bei 10° R. Lufttemperatur, hat dies bei einem Frosche, der 10 Tage in Gefangenschaft sehr gut conservirt gelebt hatte, etwa 20 Minuten gedauert.

Ich bin überdies zu der Erkenntniss, dass die Lage der Kathode an der empfindlicheren Nervenstrecke die günstigere Anordnung bildet, noch auf anderem Wege gelangt. Bei den Experimenten mit querer Durchströmung müssen relativ starke Ströme angewendet werden; einerseits darum, weil man den Nerven auf einen linearen Leiter zweiter Ordnung legt, und der Nerv nur einen Zweigstrom erhält, ein Umstand, der uns hier eigentlich gar nicht interessirt, andererseits aber darum, weil der Nerv bei querer Durchströmung schwer erregt wird. Der Nerv muss also bei der queren Durchströmung von stärkeren Stromzweigen durchflossen werden als bei der Längendurchströmung, und diese stärkeren Ströme ändern den Nerven: es wird die empfindlichste Stelle zur Wanderung gebracht.

„Zwar ist hier der Ausdruck ‚Wanderung‘ vielleicht gar nicht am Platze. Wenn im Beginne der Untersuchung eine mittlere und dann eine obere Stelle sich als die empfindlichste erweist, so kann es wohl sein, dass die obere Strecke gar nicht an Empfindlichkeit zugenommen hat, sondern dass nur die früher überempfindlich gewesene Strecke jetzt unterempfindlich ist; denn es muss in solchen Fällen bei jedem neuen Vergleiche der Widerstand im Rheostaten geändert werden, und es lässt sich daher aus je einer Serie von Reizen kein Schluss ziehen auf die absolute Grösse der Empfindlichkeit, welche bei der früheren Serie von Reizen vorhanden war. Der Ausdruck ‚Wanderung‘ ist daher vielleicht gar nicht wörtlich zu nehmen, und ich habe ihn eben der Bequemlichkeit wegen gewählt, um den Thatbestand in Kürze schildern zu können“ [1]).

Wo immer aber auch die empfindlichste Strecke liegen mochte: immer ergab es sich, dass jene Anordnung der Pole die günstigere ist, bei welcher diese Strecke von der Kathode berührt wird. Damit ist nun die Prävalenz-Hypothese in beiden Theilen und somit der Hauptsatz meiner Theorie erwiesen.

---

[1]) Dieser Absatz ist aus meiner früheren Abhandlung entnommen, woselbst auch über die von Fleischl beobachtete Wanderung des Aequators berichtet und discutirt worden ist.

VII.

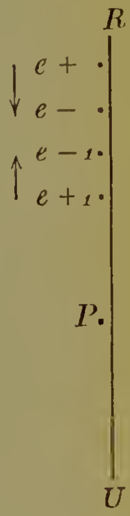
Discussion eines Gegenversuches.

Ich habe nunmehr mein Beweisverfahren abgeschlossen, und es erübrigt mir nunmehr nur noch eines Experiments Erwähnung zu thun, welches Fleischl in jener pag. 34 citirten Arbeit angeblich als ein Experimentum crucis gegen meine Prävalenz-Hypothese ins Feld geführt hat.

Der Versuch lautet wie folgt:

Wir denken uns P als die Kuppe des Nerven; was darüber ist ($R\,P$ Fig. 13) als obere Strecke, was darunter ist ($P\,U$) als untere Strecke. Wenn man die Pole an die obere Strecke in $e_+\,e_-$ legt, steigt der Strom ab. Legt man sie in $e_{-1}\,e_{+1}$ steigt der Strom auf. Nach meiner Hypothese sollte die Lage $e_{-1}\,e_{+1}$ besser wirken als $e_-\,e_+$, weil in der ersteren Lage (siehe den aufwärts gerichteten Pfeil in der Figur 13) die Kathode der empfindlichsten Stelle P näher liegt, als e_- in der Anordnung $e_-\,e_+$. Nach der Richtungs-Hypothese sollte $e_+\,e_-$ besser wirken, weil an der oberen Nervenstrecke der absteigende Strom besser wirkt, als der aufsteigende. Dieser Versuch entscheidet nun, wie Fleischl gefunden hat und ich bestätigen kann, zu Gunsten der Richtungs-Hypothese. Die Lage $e_-\,e_+$ wirkt günstiger als die Lage $e_{-1}\,e_{+1}$.

Fig. 13.



Man kann den Versuch noch vereinfachen. Man kann e_- und e_{-1} zusammenfallen lassen, d. h. die Kathoden fixiren, die Anode bald nach e_+, bald nach e_{+1} verlegen. Es wirkt immer die höhere Anordnung besser als die tiefere, der absteigende Strom besser wie der aufsteigende, trotzdem die Kathode unverrückt bleibt, wodurch nach meiner Hypothese eine Gleichheit der Wirkung gegeben sein sollte.

Schon bei der ersten Lesung jenes Aufsatzes, in welchem der Versuch in der ersten Modification mitgetheilt wird, fiel es mir indessen

auf, dass daselbst nur von der oberen Nervenstrecke die Rede ist. Von der unteren Nervenstrecke schweigt der Autor. Der Versuch an der oberen und der an der unteren Nervenstrecke gehören aber so zusammen, dass es nicht leicht Jemand, der die obere Strecke prüft, unterlässt auch die untere Strecke zu prüfen, vollends wenn sich an der oberen Strecke etwas ergibt, was zu Gunsten oder Ungunsten einer Theorie spricht.

Ich habe nun diese Unvollkommenheit des Experimentes sofort zu ergänzen versucht, und zwar so wie es bei den Alternativ-Versuchen

Fig. 14.

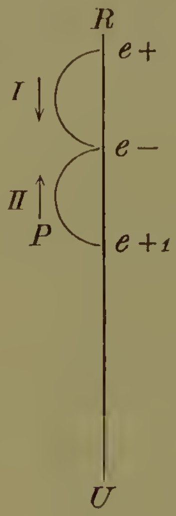
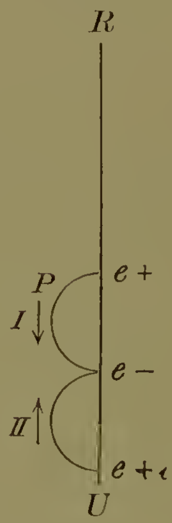


Fig. 15.



gewöhnlich geschieht. Es wurde ein und derselbe Nerv in kurzen Intervallen bald oben, bald unten geprüft. Die Ergebnisse dieser Prüfung waren nun jenem Experimentum crucis sehr ungünstig. Dieselbe Versuchsanordnung lehrt unten genau das Gegentheil von dem, was es an der oberen Strecke gelehrt hat.

Denken wir uns P in Fig. 15 als Kuppe und den Versuch nunmehr an der unteren Strecke (der Einfachheit wegen) in der schon angedeuteten zweiten Modification ausgeführt; e_- als Kathode bleibt am Nerven liegen, während die Anode bald in e_+, bald in e_{+_1} zu liegen kommt, so ergibt sich, dass der absteigende Strom ($e_+\, e_-$) besser wirkt, als der aufsteigende ($e_{+_1}\, e_-$), trotzdem hier in beiden Fällen Abschnitte einer unteren Strecke geprüft wurden.

Um Irrthümer zu vermeiden, will ich bemerken, dass ich jeden dieser Abschnitte ($e_+\, e_-$ und $e_-\, e_{+_1}$) gesondert erst mit dem auf- und absteigenden Strome geprüft, und an jedem gesondert gefunden habe,

dass (wie es der Alternativ-Versuch an der Strecke $P\,U$ erfordert) der aufsteigende Strom besser wirkt wie der absteigende. Das Umgekehrte traf erst zu, wenn ich beide Abschnitte unter einander verglichen habe. Hier zeigte sich der absteigende Strom in dem höheren Abschnitte $e_+\,e_-$ besser wirkend, als der aufsteigende in dem tieferen Abschnitte $e_-\,e_{+_1}$.

Dieser Versuch, der also angeblich ein Experimentum crucis gegen meine Prävalenz-Hypothese sein sollte, spricht an der Nervenstrecke $R\,P$ (Fig. 14) für die Richtungs-Hypothese und an der Nervenstrecke $P\,U$ (Fig. 15) für die Prävalenz-Hypothese.

Abgesehen aber von diesem Mangel ist jenes Experimentum crucis noch mit einem anderen schweren Gebrechen behaftet. In der Publication, in welcher über jenen als Experimentum crucis gedeuteten Versuch an der oberen Nervenstrecke berichtet wurde, legt der Autor das Versuchsergebniss zu Gunsten der Richtungs-Hypothese aus, während die Frage, ob nicht noch eine andere Deutung möglich ist, überhaupt gar nicht aufgeworfen wird. Dieser Umstand fällt aber hier doppelt ins Gewicht. Denn die Richtungs-Hypothese war damals schon durch einen schlagenden Versuch widerlegt. Ich hatte nämlich gezeigt, dass man (zu der geeigneten Jahreszeit und an kräftigen Exemplaren) an jeder beliebigen Nervenstrecke bald dem auf-, bald dem absteigenden Strome das Uebergewicht geben kann. Wenn ich den Versuch so anordne, dass ich den Nerven an der Kuppe P mit einem nassen Faden verbinde und nunmehr eine Elektrode unmittelbar an den Nerven oben (oder unten) lege, die andere Elektrode hingegen an das freie Ende des nassen Fadens, dann überwiegt in der oberen Strecke der aufsteigende Strom, in der unteren Strecke der absteigende Strom.

Die Leser, welche meiner Darstellung bisher aufmerksam gefolgt sind, werden das Ergebniss dieses Versuches ohne weiters begreifen. Ich komme übrigens auf diese Angelegenheit noch einmal (pag. 54) zurück und werde daselbst die Verhältnisse noch einmal besprochen. Hier kommt es ja nur auf die Thatsache an, dass es in meinem Belieben steht, an einer und derselben Nervenstrecke bald den aufsteigenden, bald den absteigenden Strom prävaliren zu lassen. Damit war die Richtungs-Hypothese widerlegt, und es konnte ihr kein neuer Versuch zum Siege verhelfen, es sei denn ein solcher, durch welchen gezeigt werden könnte, dass mein Experiment mangelhaft ist. Es liegt die Sache jetzt so, wie wenn es nach dem (pag. 22) angeführten Gleichnisse gelänge, aus dem Bergrücken bald durch Abgrabungen eine Senkung, bald wieder durch Aufschüttungen eine Erhebung der Strasse herzustellen. Wer eine solche

Widerlegung ignorirt; wer nach wie vor behauptet, er betrachte es als ein Gesetz, dass es die Himmelsrichtungen sind, welche die Fahrgeschwindigkeit bedingen, und sich statt dessen bemüht, dieses angebliche Gesetz durch neue Experimente zu erhärten, befindet sich nicht mehr auf der normalen Bahn der Forschung. Nicht als ob nicht neue Experimente denkbar sind, welche im Sinne jenes Gesetzes gedeutet werden könnten; solche mag es in Fülle geben. Dem bereits widerlegten Satze aber können sie nicht mehr zu Hilfe kommen. Auch ist es selbstverständlich, dass wenn die Widerlegung eine klare ist, dann kein Experiment mehr ausfindig gemacht werden wird, welches nur im Sinne des widerlegten Gesetzes und unmöglich anders gedeutet werden kann. Wer aber vollends jene Widerlegung des angeblichen Gesetzes ignorirt, ein neues Experiment anstellt, es zu seinen Gunsten deutet, es ein Experimentum crucis nennt, ohne überhaupt die Frage aufzuwerfen, ob dieses neue Experiment nicht auch eine andere Deutung zulässt, der glaube ich steht mit dieser Art des Arbeitens ausserhalb der Wissenschaft.

Es ist nun gar nicht meine Aufgabe, jenes angebliche Experimentum crucis des Näheren zu beleuchten. Für mich genügt es zu zeigen, das es zum mindesten zweideutig ist. Wenn oben die Anordnung I über die Anordnung II prävalirt (s. Fig. 14, p. 46), so ist ein möglicher Fall allerdings der, dass der Strom in Anordnung I überwiegt, weil er da absteigt, während er in II aufsteigt. Der zweite mögliche Fall ist aber der, dass in II die Anode auf einer sehr empfindlichen Stelle liegt und die Erregung derselben oder die Fortpflanzung der Erregung hemmt. Die hemmende Wirkung der Anode ist schon Gegenstand experimenteller Untersuchungen gewesen, und der Stand der Frage ist heute immerhin derart, dass wir den Fall in Betracht ziehen müssten, auch wenn der Gegenversuch an der unteren Nervenstrecke dazu nicht besonders einladen würde.

Bei der Wiederholung des Versuches an der unteren Strecke (Fig. 15 p. 46) liegt die Anode bei der Anordnung II, wo der Strom aufsteigt, nahe am Muskel. Wäre dieser Umstand belanglos und entschiede nur die Richtung des Stromes, dann sollte die Anordnung II (aufsteigender Strom an unterer Strecke) besser wirken wie Anordnung I. Gerade das Umgekehrte trifft aber zu. Oben wie unten ist also jene Anordnung die schlechtere, bei welcher die Anode zwischen dem Muskel und der Kathode liegt.

VIII.

Die Anodenschliessungs-Zuckung.

Der Hauptsatz, welchen ich bis jetzt erwiesen habe, sagt nicht aus, dass der Nerv gegen die Anode, respective gegen den positiven Strom gar nicht empfindlich ist; er lehrt nur, dass der Nerv bei eben zureichendem Strome an der Kathode erregt wird; d. h. also, dass er für den negativen Strom empfindlicher ist, als für den positiven Strom. Könnte man den negativen Strom abblenden, so wäre es jenem Satze zu Folge immer noch möglich, dass der Nerv von dem positiven Strome erregt wird, sobald dieser eine gewisse Spannung erreicht, die natürlich grösser sein müsste, als die eben zureichende negative Spannung.

Wenn ich nun den pag. 32 geschilderten Versuch wiederhole; mich überzeuge, dass jene Anordnung die bessere ist, bei welcher der unmittelbar am Nerven liegende Platinpol Kathode ist; wenn ich ferner den Strom eben zureichend mache, um in der günstigeren Anordnung eine Zuckung auszulösen, dann einfach (mit Hilfe des Commutators) commutire und schliesse, so tritt wie schon erwähnt wurde, keine Zuckung auf. Wenn ich aber den Strom wachsen lasse, indem ich z. B. die Widerstände im Kreise vermindere, so komme ich alsbald auf eine Stromdichte, bei welcher die Schliessung wieder eine Zuckung auslöst, trotzdem jetzt die Kathode am nassen Faden und die Anode direct am Nerven liegt.

Diese Erscheinung könnte nun dahin gedeutet werden, dass der Nerv auch gegen den positiven Strom empfindlich ist, aber weniger empfindlich, wie gegen den negativen Strom. Das elektrische Gefälle könnten wir annehmen, verläuft so, wie es der herrschenden Lehre entspricht; die negative und positive Spannung nehmen gegen die Mitte des Leiters zweiter Ordnung ab. Wenn der lineare Leiter wie in Fig. 8 (p. 32) aus Nerv plus nassem Faden besteht, und der Nerv an der Kathode liegt, so dringt der Strom bei der Schliessung mit dem Maximum der negativen Spannung in ihn ein. Bei einer gewissen Grösse dieser Span-

nung zuckt der Muskel. Wenn ich aber commutire, so wird der Nerv von negativer Spannung gar nicht getroffen, weil ja die negative Spannung am anderen Fadenende ihr Maximum hat und noch im nassen Faden Null wird. Der Muskel zuckt nicht, weil er auf eine positive Spannung von der gegebenen Grösse noch nicht reagirt. Wenn ich aber die Widerstände im Rheostaten verringere, die positive Spannung wachsen lasse, so kann sie hinreichend werden, um eine Zuckung auszulösen. So wäre es also begreiflich, dass die K. S. Z. bei einer geringeren Stromintensität auftritt als die A. S. Z. und die herrschende Lehre in Bezug auf den Verlauf des elektrischen Gefälles könnte dennoch richtig sein.

Ich würde diesen Fall als den einfacheren um so lieber acceptiren, als wir dabei die Erscheinungen am Menschen in ganz ungezwungener Weise erklären könnten. Die ärztliche Regel, dass bei zunehmender Stromintensität erst K. S. Z. und dann A. S. Z. auftritt, würde gleichsam schon den theoretischen Ausdruck dafür enthalten, dass der Nerv für den positiven Strom weniger empfindlich ist wie für den negativen, wenngleich sie beide mit gleicher Spannung[1]) in den Nerven einbrechen.

Ich bin indessen, wie schon oben (pag. 15) ausgeführt wurde, in meiner Abhandlung: „Das Zuckungsgesetz" über die von Paul Erman begründete Lehre von dem elektrischen Gefälle hinausgegangen. Ich habe behauptet, das elektrische Gefälle verlaufe in dem Leiter zweiter Ordnung nicht so, wie es seit den Untersuchungen Erman's dargestellt wird, und wie es aus der Abbildung (pag. 14) ersichtlich ist. Das Gefälle sagte ich, erstrecke sich über den ganzen linearen Leiter zweiter Ordnung, so wie es die Figur (pag. 15) kenntlich macht.

Dieser Annahme zu Folge lässt der Umstand, dass die Anodenschliessungs-Zuckung später, d. i. erst bei grösserer Intensität auftritt als die Kathodenschliessungs-Zuckung noch eine andere Deutung zu als die, dass der Nerv gegen den positiven Strom weniger empfindlich ist als gegen den negativen Strom. Er lässt die Deutung zu, welcher ich schon oben (pag. 16) Ausdruck gegeben haben, und der zu Folge die A. S. Z. eigentlich eine K. S. Z. ist, indem die A. S. Z. erst dann eintritt, wenn die Kathodenspannung schon in der Nähe der Anode so gross ist, um den Nerven zu erregen.

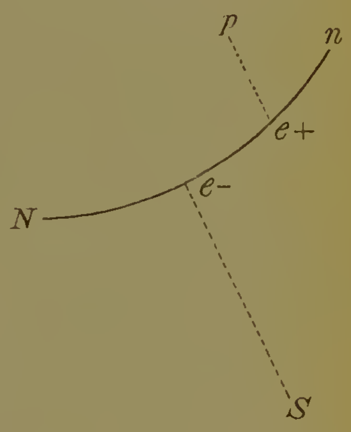
Zu dieser Hypothese hat mich nun die folgende Erfahrung geleitet. Wenn es wahr wäre, dass das elektrische Gefälle wie in Fig. 2

---

[1]) Die Spannungen am positiven und negativen Pol können nach Messungen von Kohlrauch und Quinke kleine Differenzen zeigen.

p. 14 verläuft, dann müsste, wenn e_- e_+ (Fig. 10, p. 34) einen nassen Faden zwischen den Polen e_- und e_+ gespannt vorstellen, ein Punkt dieses Fadens ausfindig zu machen sein, auf welchen man den Nerven behufs querer Durchströmung legen dürfte, ohne dass der Muskel zuckt, trotzdem er bereits bei der Lage des Nerven in der Nähe von e_- eine Schliessungszuckung gezeigt hat. Dieser Fall trifft aber nicht zu. Wenn man den Nerven senkrecht auf den nassen Faden legt, so tritt zuerst Zuckung an der Kathode auf, dann wird bei immer zunehmender Intensität des Stromes die Fadenstrecke, an welcher noch Zuckung ausgelöst wird, immer grösser; sie reicht bis zur Mitte, dann bis über die Mitte und endlich bis zur Anode. Dieser Verlauf zwingt mich, die Erman'sche Hypothese fallen zu lassen oder aber anzunehmen, die Spannung sei überhaupt nicht massgebend. Dass aber die letztere Annahme unmöglich ist, habe ich schon in der Einleitung dargethan: es bleibt mir daher nichts übrig, als die Erman'sche Hypothese fallen zu lassen.

Fig. 16.



So zwingend indessen auch diese Schlussfolge sein mochte, so habe ich mich dennoch nicht den Zweifeln verschlossen, welche gegen die Consequenzen derselben auftauchen können, und ich habe diesen Zweifeln schon in Abschnitt II Ausdruck gegeben. Um nun angesichts dieser Zweifel wenigstens die Thatsache, auf welche ich mich bei der Schlussfolgerung stütze, möglichst gut zu fundiren, habe ich mich bemüht, auch hier die quere Durchströmung zu umgehen und den Beweis mit einer Längsdurchströmung herzustellen. Zu diesem Zwecke habe ich den Nerven N mit einem nassen Faden (Se_- Fig. 16) von etwa 10 Cm. Länge verbunden, der aus einem mit dem Zinkpol verbundenen Zuleitungsgefässe stammte. Den anderen Pol bildete eine Platinspitze p, an welcher ein nasser Faden (p e_+) von 3 — 4 Cm. Länge wie eine Peitschenschnur befestigt war und deren freies Ende (bei e_+ Fig. 16) den Nerven berührte. Der Leiter zweiter Ordnung verlief also jetzt von p durch e_+ e_- zum Zuleitungsgefässe S. Die Anodenspannung muss hier unter allen Umständen bei p grösser sein als bei e_+. Macht man den Strom eben zureichend, um bei der beschriebenen Anordnung eine Zuckung auszulösen, so müsste die Erregung (wenn die herrschende Erman'sche Hypothese die richtige wäre) in e_+ von dem positiven

Strome, respective von der positiven Spannung besorgt werden. Eliminirt man jetzt den nassen Faden $p\, e_+$, indem man die Platinspitze direct an den Nerven legt, müsste die Erregung und implicite die Zuckung wachsen, und zwar aus zwei Gründen; erstens weil der lineare Leiter zweiter Ordnung gekürzt, die Widerstände kleiner geworden sind; zweitens weil die positive Spannung bei p grösser ist als bei e_+. In der That tritt aber der umgekehrte Fall ein, die Zuckung nimmt ab.

Dieser Versuch ist sehr bequem so auszuführen, dass man die Stelle e_+ am Nerven markirt, den Draht, der die Platinspitze trägt, durch ein isolirendes Mannbrium erfasst und bald die Platinspitze, bald die herabhängende Fadenspitze [1]) an den Nerven legt.

Aus Gründen, die ich später noch namhaft machen werde, müssen diese Versuche zur guten Jahreszeit an frisch eingefangenen Exemplaren ausgeführt werden. In den kühlen Augusttagen dieses Jahres (1882) ist der Versuch an Exemplaren, die nicht länger als 24 Stunden in meinem Laboratorium verlebt hatten, ausnahmslos gelungen [2]). Die Zuckung fiel unmittelbar an der Anode immer kleiner aus, als in der Entfernung von einigen Centimetern gegen die Kathode hin. Die Unterschiede wachsen (in meinem Sinne) zweifellos mit der Frische der Exemplare, und ich möchte es Jedem, der die Versuche wiederholt, empfehlen, das Experiment wenigstens einmal an Exemplaren auszuführen, die (zur günstigen Jahreszeit) wenige Stunden nach der Gefangennahme schon auf dem Experimentirtische liegen können.

Die Längs- und Querdurchströmung lehren also übereinstimmend, dass die Wirkung des Stromes auf den Nerven von der Kathode bis zur Anode allmälig abnimmt. Ob diese Abnahme eine gleichmässige ist, habe ich nicht bestimmt, und es kommt vorläufig auch nicht darauf an, dies zu bestimmen. Die bildliche Darstellung wie Fig. 3 (pag. 15) ist also nur eine willkürliche. Was diese Figur zu versinnlichen hat, ist eben nur, dass die Spannungen nicht in der Mitte des Leiters zweiter Ordnung Null werden, sondern erst an oder jenseits der Elektroden [3]).

Wenn ich nun auf diese Versuche gestützt sage, der Nerv sei nur gegen den negativen Strom empfindlich, dass er aber vom positiven Strome gar nicht erregt werde, so stütze ich mich dabei nur auf die

[1]) Der Faden kann auch an einer bequemen Vorrichtung (isolirt natürlich) etwa wie auf einen Fiedelbogen gespannt sein.

[2]) Es vergehen in der Regel 12—15 Stunden, bis die frisch eingefangenen Frösche in mein Laboratorium kommen.

[3]) Das letztere ist nach der Betrachtung von pag. 18 wahrscheinlicher, doch ist das eine Frage, die hier kein Interesse bietet.

Erfahrung; und die Erfahrung reicht eben nicht weiter, als bis zu jenen Stromintensitäten, die unter allen Umständen eine maximale Zuckung auslösen; unter allen Umständen, das heisst so viel als, mag die Kathode am Nerven oder am nassen Faden liegen. Wie sich die Verhältnisse jenseits solcher Stromintensitäten gestalten, darüber kann mich die Beobachtung nicht unterrichten, da ich ja, wenn einmal maximale Zuckungen da sind, keine Unterschiede in den Leistungen zu erkennen vermag. Ueberdies wird der Nerv durch Ströme von grösserer Intensität, als sie zu maximalen Zuckungen nöthig sind, sehr leicht verändert, und nach gewissen Veränderungen wird der Nerv zweifellos auch gegen den positiven Strom empfindlich.

An frisch eingefangenen Fröschen (der guten Jahreszeit) überwiegt die Empfindlichkeit des Nerven gegen den negativen Strom derart, dass die Empfindlichkeit gegen den positiven Strom nicht nachweisbar ist. An solchen Fröschen gelingen alle Versuche, die ich zu Gunsten meiner Hypothesen ausgeführt habe, ausnahmslos. Die Nerven haben ferner die relativ grösste Widerstandskraft. Ich kann mit einem Präparate ein bis zwei Stunden arbeiten, wenn ich den Nerven in den Arbeitspausen zwischen Fleischmassen berge; ich kann relativ starke Ströme anwenden, ohne ihn dauernd zu schwächen; ich kann ihn wiederholt nach einander reizen, ohne dass seine Empfindlichkeit abnimmt. Sowie sich aber die Jahreszeit verschlechtert, oder sobald die Thiere längere Zeit in der Gefangenschaft [1]) gelebt haben, ändert sich die Sachlage. Es sinkt die absolute Empfindlichkeit; es sinkt die Widerstandskraft der Nerven, und es steigt die Empfindlichkeit für den positiven Strom. Kommt man vollends in sehr heisse Julitage oder in die trüben Tage unseres Spätherbstes und Winters hinein, dann wird das Uebergewicht in der Empfindlichkeit gegen den negativen Strom ein minimales, und eine einzige intensive Reizung reicht hin, dieses Uebergewicht auszugleichen oder in das Gegentheil umzugestalten. Solche Frösche sind zwar immer noch brauchbar für den Alternativ-Versuch. Denn in dem Alternativ-Versuche wirken zwei Momente zusammen. Einmal das Uebergewicht der Kathode und dann das Uebergewicht der Empfindlichkeit gewisser Nervenstrecken. So lange noch Spuren der Prävalenz der Kathode da sind, muss daher in einer oberen Nervenstrecke der absteigende Strom, und unten der aufsteigende Strom überwiegen. Anders liegt die Sache bei einer Reihe anderer Versuche.

[1]) Diese Aussage bezieht sich natürlich nur auf meine Anstalt.

Die Versuche mit der queren Durchströmung geben uns über die Unterschiede, respective über die angedeuteten Aenderungen bündigen Aufschluss. So lange der Nerv ganz frisch ist, überwiegt die Kathode, sowie der Nerv herabkommt, hört das Uebergewicht auf.

Gestützt auf diese Erfahrungen von der wechselnden Empfindlichkeit gegen die Kathode werden uns nunmehr auch jene Experimente verständlich, bei welchen sich die Ergebnisse der Alternativ-Versuche umkehren lassen.

Wenn ich frisch eingefangene Exemplare der guten Jahreszeit wie gewöhnlich präparire, an die empfindlichste Stelle des Nerven P (Fig. 17 und 18) einen nassen Faden lege und diesen mit der einen Platinspitze in Verbindung setze, wenn ich ferner die andere Platinspitze oben oder unten direct an den Nerven lege, so überwiegt oben der aufsteigende Strom, unten der absteigende, was den Ergebnissen des Alternativ-Versuches, wie sie sich bei directer, bipolarer Bewaffnung des Nerven gestalten, gerade widerspricht.

Angesichts des Umstandes, dass der Nerv — innerhalb der Stromintensität mit der hier experimentirt wird — selbst von dem Maximum

Fig. 17.

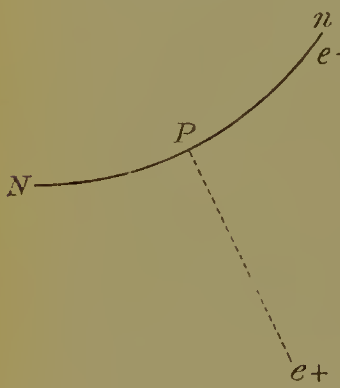
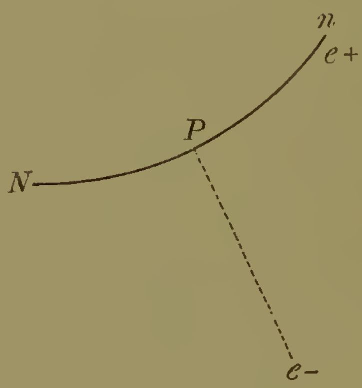


Fig. 18.



der positiven Spannung noch nicht erregt wird, ist es begreiflich, dass die Anordnung (Fig. 18) schlechter wirken kann, wie die Anordnung (Fig. 17). Wenn e_- wie in Fig. 17 am Nerven liegt, so wird er bei (e_-) von dem Maximum der negativen Spannung und bis P herab immer noch von erheblichen Grössen solcher Spannung getroffen. Commutire ich den Strom, (s. Fig. 18) so trifft der Theil des negativen Gefälles, welcher früher auf den Nerven gewirkt hat, auf den nassen Faden; auf den Nerven

fallen (selbst wenn man meinen Corollarsatz anerkennt) nur sehr geringe Höhen negativer Spannung, die nicht hinreichen, ihn zu erregen.

Sowie aber der Nerv verändert wird, sowie er anfängt, innerhalb der benützten Stromintensitäten auch gegen den positiven Strom empfindlich zu sein, kann sich das Verhältniss, auch wenn die Kathode immer noch überwiegt, sehr leicht umkehren. Es kann sich also ereignen, dass der Nerv, mag man beide Pole unmittelbar anlegen oder mag man den Nerven als Verlängerung eines nassen Fadens zwischen den Elektroden einschalten, dass unter allen Umständen, sage ich, eine Richtung überwiegt, der nasse Faden also keinen anderen Effect hat, als den Widerstand zu vergrössern.

Die hier geschilderten Unterschiede zwischen den Nerven der frisch eingefangenen Exemplare der guten Jahreszeit und den Nerven herabgekommener Thiere sind übrigens vielleicht die einzigen nicht. Ich habe in meiner früheren Abhandlung den Beweis dafür angestrebt, dass sich auch Aenderungen des Leitungswiderstandes ergeben, und ferner auch dafür, dass diese Aenderungen auf die Gestaltung der Versuche von Einfluss sind. Doch will ich diese minder wesentliche Frage nicht noch einmal aufrollen. Ein nicht unwichtiges Experiment, welches ich anknüpfend an jene Darstellung beschrieben habe, wird übrigens noch im letzten Abschnitte zur Sprache kommen.

IX.

Die elektrischen Gleichartigkeiten des Nerven.

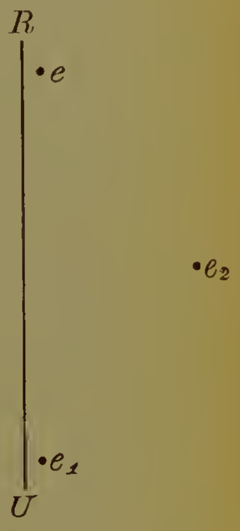
Die Ergebnisse meiner Versuche über das Zuckungsgesetz haben mich zu einigen Experimenten über das elektrische Verhalten des Hüftnerven angeregt. Die Versuche am lebenden Frosche lassen nämlich keinen Zweifel darüber, dass die Kuppe im Hüftnerven nicht etwa ein Kunstprodukt, sondern schon am intacten Nerven vorhanden ist. Wenn man den Frosch (mit der Wirbelsäule nach oben) aufbindet und der Verlaufslinie des Hüftnerven entlang vier Nadeln einsticht, so dass zwei von ihnen der oberen und zwei der unteren Nervenstrecke entsprechen, und die Nadeln zu Stromgebern macht, so zeigt es sich, dass oben der absteigende Strom, unten der aufsteigende überwiegt. Dieser Erfolg traf zu allen Jahreszeiten zu, mochten die Thiere auch in der Gefangenschaft herabgekommen sein.

Ich habe schon (pag. 39) angedeutet, dass meinen Messungen zu Folge der Nerv bei dieser Art des Versuches zweifellos von einer solchen Stromrichtung beherrscht wird, wie man sie unter der Voraussetzung construiren müsste, dass der ganze Oberschenkel aus einer (dem Leitungsvermögen nach) gleichartigen Masse bestünde, und ferner so erregt wird, als wenn nur das zwischen den zwei Nadeln liegende Nervenstück gereizt würde. Dieses Nervenstück bekommt zwar nur Bruchtheile des ganzen Stromquerschnittes, man muss, um es zu erregen, grössere Intensitäten anwenden, als wenn der Nerv isolirt auf den Elektroden läge; sonst bleiben aber die Erfolge die gleichen. Die Zuckungen selbst dienen uns übrigens als Beleg für diese Ansicht. Das Ueberwiegen des absteigenden Stromes an der oberen Schenkelstrecke und das Ueberwiegen des aufsteigenden Stromes an der unteren Strecke lässt über die Sachlage keinen Zweifel.

Lässt man andererseits von den beiden Nadelpaaren (wie es Fig. 19) versinnlicht) die oberste e und unterste e_1 an ihrem Platze, sticht hingegen eine mittlere Nadel in e_2 (an der äussersten Grenze des Ober-

schenkels gedacht) ein und lässt nun den Strom bald durch $e\, e_2$, bald durch $e_1\, e_2$ in den Schenkel eintreten, so dreht man die Ergebnisse des Alternativ-Versuches um, insoferne oben ($e\, e_2$) immer der aufsteigende unten ($e_2\, e_1$) immer der absteigende Strom der wirksamere ist. Wir haben hier einen ähnlichen Fall, wie er in der Fig. 17 und 18 (pag. 54) versinnlicht worden ist. Dort lag zwischen Kuppe und Metallpol ein nasser Faden, hier liegen Fleischmassen dazwischen. Ein Unterschied besteht nur darin, dass der in Fig. 17 und 18 versinnlichte Fall nur in der guten Jahreszeit gelingt, während der hier geschilderte Versuch am intacten Frosche zu allen Jahreszeiten gelungen ist. Ich will indessen über diese Unterschiede hier keine weiteren Speculationen anstellen. Genug an dem, dass wir die Existenz einer Kuppe der Empfindlichkeit auch am lebenden Frosche und intacten Nerven nachweisen können.

Fig. 19.



Wenn nun, dachte ich, verschiedene Nervenstrecken verschieden empfindlich sind, so könnte es sein, dass sie auch elektrische Differenzen erkennen lassen.

Da es ferner hier darauf ankam, eventuell ganz geringe Differenzen zu erkennen, habe ich die Boussole so empfindlich eingestellt, dass der Nervenstrom vom Längsschnitt zum frisch angelegten Querschnitte etwa 400 Scalentheile betrug.

Da ich am undurchschnittenen Nerven arbeiten wollte, und es sich übrigens wünschenswerth erwiesen hat, die Muskeläste des Nerven nicht zu durchschneiden, habe ich meinen Versuch wie folgt zugerichtet. Der Oberschenkel wurde mit Ausschluss des Nerven [1]) hart oberhalb des Knies mit der Scheere durchschnitten, dann der Unterschenkel auf einer höher gelegenen, der Rumpf auf einer niedriger gelegenen Glasplatte so untergebracht, dass der Nerv als leitende Verbindungsbrücke schräg durch die Luft gespannt war. Nun wurden von den Zuleitungsgefässen Baumwollfäden in den geeigneten Flüssigkeiten getränkt zu dem Nerven geführt und dort angelegt, von wo ich eben ableiten wollte [2]).

[1]) Eine Methode, die (soweit es mir bekannt geworden ist) von Du Bois-Reymond herrührt.

[2]) Ich habe meinen Ableitungsgefässen eine Einrichtung gegeben, die wie mir scheint, vor der älteren Methode den Vorzug verdient. Meine Zinkgefässe, von etwa 5 Ctm. Durchmesser und 3 Ctm. Höhe, werden durch einen Deckel aus

Nach mannigfachen Täuschungen, welche durch unsauberes Präpariren hervorgerufen waren, bin ich nun zu der Ueberzeugung gelangt, dass der frisch präparirte vollkommen unverletzte Nerv in seiner Oberschenkelstrecke mit unseren jetzigen Hilfsmitteln keine elektrischen Differenzen aufweist.

Ein Zufall hat mich indessen zu der Erfahrung geführt, dass sich ein bis zwei Stunden nach der Präparation des Nerven (am getödteten Thiere) thatsächlich Differenzen einstellen, wie ich sie, wenigstens der localen Vertheilung nach, erwartet habe. Eine mittlere Region des Nerven verhält sich nämlich elektronegativ gegen die obere Region in der Nähe des Abganges der Oberschenkeläste, sowie gegen die tiefere Region in der Nähe des Knies. Die elektronegative Stelle, von welcher aus sich gegen einen bestimmten oberen oder unteren Punkt das Maximum der Differenzen ergab, lag häufig etwa zwischen zweitem und dritten Drittel der Oberschenkelstrecke, zuweilen etwas höher, zuweilen etwas tiefer. Der Lage nach stimmte also die elektronegative Stelle mit der Knppe überein.

Wenn ich sage, dass sich diese Differenzen ein bis zwei Stunden nach der Präparation eingestellt haben, so beziehe ich mich dabei

---

Hartkautschuck zu einer Dose umgestaltet. Der Deckel ist (nach Art der Sparbüchsen) mit einer Spalte versehen. Wenn nun das Gefäss mit der Lösung versehen ist, stecke ich durch diese Spalte einen Streifen Filtrirpapier, der (wenn der Deckel aufliegt) unten in die Flüssigkeit hineinragt, sich vollsaugt, und so auch das nach oben hervorragende Ende des Papierstreifens befeuchtet und feucht erhält. Das oben hervorragende Ende des Papierstreifens biege ich um und lege es auf den Deckel nieder. Nunmehr habe ich in diesen Papierenden einen Ersatz für den Papierbausch, nur ist meine Unterlage eine festere, ich kann auf den gut anliegenden Deckeln von Hartkautschuck viel sicherer operiren als auf den Papierbäuschen; ich kann sie direct als Unterlagen (Klötze) für Glasplatten benützen, und ich erspare schliesslich die lästige Manipulation mit den Papierbäuschen. Noch bequemer wäre es vielleicht, die Zinkgefässe in Kautschuckdosen hineinzustellen, deren Deckel mit der für den Durchlass der Papierstreifen nöthigen Spalte versehen ist. Alle übrigen Umstände, deren ich hier keine Erwähnung thue, habe ich nach den gebräuchlichen Methoden eingerichtet.

Ich habe früher im Texte (pag. 11) bemerkt, dass ich meine Gefässe aus chemisch-reinem Zink habe giessen und mit chemisch-reinem Quecksilber verquicken lassen. Wenngleich Du Bois-Reymond solcher Versuche schon Erwähnung thut und bemerkt, dass ihm daraus kein Vortheil erwuchs, so glaubte ich, dass angesichts der empfindlicheren Apparate, und des Umstandes, dass ich keine elektrische Gleichheit zu erzielen vermochte, die Sache noch einmal vornehmen zu müssen. Ich habe indessen durch das chemisch-reine Zink und durch das reine Quecksilber gleichfalls keine erweislichen Vortheile zu erzielen vermocht.

selbstverständlich auf solche Präparate, deren Nerven in der Zwischenzeit zwischen den einzelnen Prüfungen unter Fleischmassen geborgen waren; ich habe es also nicht etwa mit den Resultaten ungleicher Austrocknung des Nerven zu thun.

Diese elektrischen Differenzen stellen sich schon zu einer Zeit ein, da der Nerv und Muskel noch reizbar sind; sie überdauern aber die Reizbarkeit. Vierundzwanzig Stunden nach der Präparation waren die Differenzen in der Regel noch (oder erst) auf ihrem Maximum. Achtundvierzig Stunden nach der ersten Präparation, da trotz der besten Aufbewahrung keine Spur von Reizbarkeit mehr zu erkennen war, liessen sich jene Differenzen — etwas verringert zwar — immer noch nachweisen. Drei Tage nach der Präparation waren in der Regel die letzten Spuren der elektrischen Differenzen erloschen.

Die Grösse der Ablenkung betrug in der Regel nicht mehr als etwa den zehnten Theil des Längs-Querschnittsstromes nach frisch angelegtem Querschnitte. Nur ausnahmsweise ging die Ablenkung über diese Grenzen hinaus. In einzelnen Fällen (etwa 2 von hundert [1]) waren die Ablenkungen sehr gross, sie erreichten etwa die Hälfte des Längs-Querschnittsstromes; während sie in anderen ebenso vereinzelten Fällen sehr gering waren. Nerven, an welchen sich die Differenzen im Laufe von zwei Stunden gar nicht entwickelt hatten, habe ich niemals zu Gesichte bekommen.

Negative Schwankungen jener Ströme konnte ich nicht nachweisen. Insoferne ich mich aber dabei veranlasst gefunden habe, die dem Nerven zugeführten Ströme zu variiren, habe ich erfahren, dass jede lebende Nervenstrecke durch Tetanisiren gegen ihre Nachbarschaft elektronegativ gemacht wird.

Da ich die entsprechende Stromableitung immer nur nach der Tetanisirung ausgeführt habe, so kann ich eigentlich nur von einer Nachwirkung des Tetanisirens sprechen. So gelingt es also z. B. den Längs-Querschnittsstrom zu vernichten, wenn man die Stelle der Nervenoberfläche, von welcher man ableiten will, vorher etwa eine halbe Minute tetanisirt.

Die Ströme, welche hierzu nöthig sind, übersteigen jene Intensitäten, mit welchen man den Nerven reizen muss, um den Gastrocnemius in Tetanus zu bringen; doch aber brauchen sie nicht so intensiv zu sein, um den Nerven abzutödten.

---

[1]) Ich habe im Ganzen wohl an 100 Thiere für diese Zwecke geopfert.

*

Wenngleich also das elektronegative Verhalten der tetanisirten Strecke vielleicht auf dieselben Principien zurückzuführen ist, auf welche L. Hermann das negative Verhalten des künstlichen Querschnitts zurückführt, so ist doch die Analogie keine vollständige. Die tetanisirte Strecke kann sich wieder erholen, und neuerdings tetanisirt, neuerdings negativ werden. Auch ist es nicht nöthig, die Tetanisirung so intensiv zu machen, dass man sofort das Maximum der elektrischen Differenzen hervorruft. Wechselströme, welche eben hinreichen, um den Muskel in Tetanus zu versetzen, durch 20 bis 30 Secunden angewendet, rufen schon auffallende Differenzen hervor.

Ich will mich in keine Untersuchung darüber einlassen, ob die Differenzen, welche an dem Nerven ohne unser Hinzuthun auftreten, in dieselbe Kategorie gehören, welche L. Hermann für die Längs-Querschnittsströme behauptet. Ich habe die Befunde hier mitgetheilt, um zu zeigen, dass sich am Nerven auch durch Ableitung von Strömen ein Unterschied erkennen lässt, zwischen jenen Strecken, die sich auch zugeführten Strömen gegenüber verschieden verhalten. Der Umstand, dass sich die elektrischen Differenzen am ganz frischen Nerven nicht erkennen lassen, spricht nicht dagegen, dass diese Differenzen, — wie sie sich ein bis zwei Stunden nach der Präparation erkennen lassen — dennoch mit den Empfindlichkeits-Unterschieden in irgend einem Zusammenhange stehen. Es könnten — um nur einen möglichen Fall namhaft zu machen — die empfindlichsten Stellen am raschesten jene Veränderungen erleiden, welche sich auch am künstlichen Querschnitte geltend machen.

C. Ueberreuter'sche Buchdruckerei (M. Salzer) in Wien.